



Martin Hehn, BSc.

Einfluss von Rissbreiten auf das Korrosionsverhalten von Mikropfählen

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer

Univ. Prof. Dipl.- Ing. Dr.techn. Roman Marte

Institut für Bodenmechanik, Grundbau und Numerische Geotechnik

Mitbetreuer:

Dipl.- Dipl.- Ing. Dr.techn. Matthias J. Rebhan, BSc. , Baumeister

Graz, Jänner 2021

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Arbeit identisch.

.....
Datum

.....
Unterschrift

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich all jenen Personen danken, welche mich während meines Studiums begleitet, unterstützt und motiviert haben.

Zunächst möchte ich mich bei Herrn Univ.- Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Roman Marte bedanken, der mit seinem Engagement und seiner Begeisterung meine Leidenschaft für die Geotechnik erweckte.

Herrn Dipl.- Dipl.- Ing. Dr.techn. Matthias J. Rebhan, BSc. Baumeister gilt mein besonderer Dank für die ausgezeichnete Betreuung und Unterstützung während der gesamten Dauer meiner Diplomarbeit. Er hatte immer eine helfende Hand und ein offenes Ohr für mich parat.

Den Mitgliedern des Stahlbauzeichensaales sowie meinen Studienkolleginnen und Studienkollegen möchte ich für unsere gemeinsame, ereignisreiche Zeit danken.

Meiner Freundin Martina möchte ich an dieser Stelle danken, da sie während dieser nicht einfachen Zeit, immer ein offenes Ohr und passende Ratschläge für mich hatte.

Am Ende möchte ich jenen danken, die mir dieses Studium erst ermöglicht haben und die stets zu mir gestanden haben. Daher gilt mein herzlichster Dank meinen Eltern, Andrea und Stefan. Auch meinen Geschwistern, Kathrin und Matthias möchte ich für die gemeinsamen Abenteuer während meiner Studienzeit danken.

Vielen Dank!

Forschungsprojekt DAT

Die in dieser Arbeit durchgeführten Versuche und Untersuchungen waren Teil des Forschungsprojektes *DAT – Dauerhaftigkeit in der Ankertechnik*. Dieses Projekt aus dem FFG-Programm „*Verkehrsinfrastrukturforschung VIF 2018*“ (Projektnummer 873149) wurde durch das Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (kurz Bundesministerium für Klimaschutz BMK) vertreten durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG) gemeinsam mit den Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) sowie der Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft (ASFINAG) beauftragt.

Das Forschungsprojekt DAT zeigt, wie brisant und wichtig Forschung im Bereich der Geotechnik und der Verkehrsinfrastruktur ist. Vor allem Fragestellungen wie die Dauerhaftigkeit und damit in weitere Folge auch die Zuverlässigkeit, Sicherheit und Verfügbarkeit der Infrastruktur nehmen auf Grund des steigenden Alters des österreichischen Straßen- und Schienennetzes einen hohen Stellenwert ein. Durch die in dieser Arbeit durchgeführten Versuche wurde ein wesentlicher Beitrag zum vertieften Verständnis der Korrosion und der Funktionsweise von Korrosionsschutzsystemen bei Zugelementen gebracht. Anhand der umgesetzten Versuchsreihen konnten die Auswirkungen einer künstlichen Korrosionsschädigung bei verschiedenen Korrosionsschutzsystemen gezeigt werden. Damit wurde der Grundstein für weiterführende Versuche gelegt, welche sich vertiefter und intensiver mit dieser Aufgabenstellung befassen. Zudem zeigten diese Versuche, dass die künstliche Korrosionsnachbildung nicht nur bei Stahlbetonbauteilen sondern auch bei Zugelementen in der Geotechnik angewendet werden kann, um eine Korrosionsschädigung zu simulieren und deren Auswirkungen auf derartige Bauteile zu untersuchen. Dieser Teil der Forschung ist wesentlich, um zukünftige Schäden an geankerten Konstruktionen vorzubeugen bzw. diese zu minimieren und ihre Auswirkungen abzuschwächen, um die Sicherheit der Infrastruktur und damit auch jene der Nutzer*Innen gewährleisten zu können.

Neben den oben angeführten Auftraggebern des Forschungsprojektes DAT gilt der Dank auch den Wirtschaftspartner, welche mit ihrer Expertise und der Bereitstellung von Probekörpern sowie ihrer Unterstützung bei der Versuchsdurchführung wesentlich zum Erfolg dieser Arbeit beigetragen haben. Insbesondere sei hier die ANP-Systems GmbH angeführt, welche durch die Bereitstellung der Zugelemente sowie der Produktion der Versuchskörper wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen hat.

Kurzfassung

Die Dauerhaftigkeit von Ankern und Mikropfählen ist in den letzten Jahren eine immer wichtigere Thematik geworden. Eine der zentralen Fragestellungen hierzu ist die Korrosion, welche durch Risse im Verpresskörper auftritt. Aufgrund der hohen Lasten, welchen diese Bauteile unterliegen, stellen sie im Regelfall ein für die Tragfähigkeit relevantes Bauteile dar. Zudem ist eine Kontrolle dieser Elemente entsprechend schwierig bis nicht umsetzbar, da ein Großteil der Bauteile im Untergrund installiert ist, somit nicht frei zugänglich und inspizierbar sind. Mikropfähle werden oft für zugbeanspruchte Verankerungen im schwer zugänglichen Gelände wie etwa für Lawinenverbauungen, Steinschlagschutznetze, Murbarrieren oder ähnliches verwendet. Zufolge der Zugbeanspruchung dieser Verankerungen kommt es häufig zum Aufreißen der Verpresskörper. Die dabei entstehenden Risse beeinflussen die Dauerhaftigkeit der Mikropfähle negativ. Die Zugpfähle stellen infolge ihrer hohen Belastung und ihrer Lage im Baugrund einen kritischen Bauteil dar.

In dieser Arbeit wurde die Rissbildung an unterschiedlichen zugbeanspruchten Mikropfählen nachgebildet. Die Nachbildung der Rissbildung durch Verwendung eines Spannrahmens entspricht jedoch nicht der Realität, da Faktoren, wie beispielsweise Erddruck bzw. Reibung, nicht berücksichtigt werden konnten. Hierzu wurden Versuchskörper mit unterschiedlichen Korrosionsschutzmaßnahmen hergestellt und mittels künstlicher Korrosion wurde eine Schädigung der Bewehrungselemente nachgebildet. Der Korrosionsprozess wurde mithilfe einer elektrochemischen Reaktion nachgebildet. Die Korrosionsgeschwindigkeit, dieser elektrochemischen Reaktion, entspricht einer vielfachen des natürlichen Korrosionsprozesses. Für den Korrosionsprozess wurde ein Elektrolyt in Form einer Natriumchloridlösung, eine Kathode abgebildet durch zwei Kupferstäbe, dem Bewehrungselement als Opferanode und einem Batterieladegerät als Spannungsquelle verwendet. Durch das Elektrolyt, welches in die entstehenden Risse eindrang, wurde ein Kontakt zwischen der Opferanode und der Kathode hergestellt. Durch Anlegen einer Spannung und dem daraus resultierenden Elektronenfluss wurde der Korrosionsmechanismus künstlich nachgebildet.

Die Durchführung der Versuche zeigte, dass bereits bei sehr kleinen Rissen eine künstliche Korrosionsschädigung stattfindet. Zudem konnte der Einfluss unterschiedlicher Korrosionsschutzmechanismen (Zementsteindeckung, Zinkschutzschicht, doppelter Korrosionsschutz) auf eine Korrosionsschädigung gezeigt werden.

Abstract

Influence of crack widths on the corrosion behaviour of micropiles

The durability of anchors and micropiles has become an increasingly important issue in recent years. One of the main issues is corrosion, which occurs due to cracks in the grout body. Due to the high loads to which micropiles are subjected, they usually are relevant for the load-bearing capacity and the safety of structures. In addition, an inspection of these elements is mostly difficult or even impossible, as a large part of them are installed in the ground and are therefore not accessible and visible inspectable. Micropiles are often used for anchorages in difficult terrain for avalanche barriers, rockfall protection structures, mud barriers or similar. As a result of their tensile loading, the grout body often cracks. The resulting cracks have a negative impact on the durability of the micropiles. Therefore, tension piles represent a critical component due to their high loading and their location in the subsoil.

In this work, the cracking of different micropiles subjected to tensile loads was simulated. However, the simulation of cracking by using a tension frame does not correspond to reality, as factors such as earth pressure or friction could not be taken into account. Test specimens with different corrosion protection measures were produced and damage to the reinforcement elements was simulated by using of artificial corrosion. The corrosion process was simulated with the help of an electrochemical reaction. The corrosion rate of this electrochemical reaction simulates a multiple of a natural corrosion process. Therefore, an electrolyte in the form of a sodium chloride solution, a cathode represented by two copper rods, the reinforcement bar as a sacrificial anode and a voltage source were used. Contact between the sacrificial anode and the cathode was established by the electrolyte penetrating the cracks that formed. By applying a voltage and the resulting electron flow, the corrosion mechanism was artificially simulated.

The execution of the experiments showed, that artificial corrosion damage already takes place in the case of very small cracks. In addition, the influence of different corrosion protection mechanisms (cement stone coating, zinc protection layer, double corrosion protection) on corrosion damage could be shown.

Inhalt

1	Einleitung	1
2	Mikropfähle	2
2.1	Allgemeines	2
2.2	Herstellung von Mikropfählen	3
2.3	Anwendungsgebiete	3
2.4	Systeme	4
2.5	Normen und Regelwerke	6
3	Mikropfähle bei Schutzbauten	10
3.1	Technischer Lawinenschutz	10
3.1.1	Lawinenanbruchverbauung	11
3.1.2	Bemessung der Fundierung bei Lawinenanbruchverbauungen	17
3.2	Vermurungsschutz	21
3.2.1	Murbarrieren	22
3.2.2	Bemessung der Fundierung von Murbarrieren	23
3.3	Technischer Steinschlagschutz	24
3.3.1	Steinschlagschutzzäune	25
3.3.2	Bemessung der Fundierung bei Steinschlagschutznetzen	29
3.4	Vergleich der Korrosionsschutzmaßnahmen für Mikropfähle	33
4	Korrosion bei Mikropfählen	34
4.1	Korrosion im Allgemeinen	34
4.2	Chemische Korrosion	35
4.3	Metallphysikalische Korrosion	35
4.4	Elektrochemische Korrosion	36
4.5	Korrosionserscheinungsformen	37
4.5.1	Gleichmäßige Flächenkorrosion	38
4.5.2	Örtliche Korrosion	38
4.6	Korrosion bei mechanischer Beanspruchung	40
4.7	Korrosionsschutz	43
4.7.1	Passiver Korrosionsschutz	43

4.7.2	Aktiver Korrosionsschutz	45
4.8	Kosten von Korrosionsschäden	47
5	Korrosionsnachbildung bei Mikropfählen	48
5.1	Versuchsaufbau	48
5.2	Versuchskörper	49
5.3	Versuchsdurchführung	50
5.3.1	Charge 1	50
5.3.2	Charge 2	51
5.3.3	Charge 3	52
5.3.4	Zusammenfassung der Versuchskörper	52
5.4	V Versuchsergebnisse	52
5.4.1	DAT_VK_01	54
5.4.2	DAT_VK_02	55
5.4.3	DAT_VK_03	56
5.4.4	DAT_VK_04	57
5.4.5	DAT_VK_05	57
5.4.6	DAT_VK_06	58
5.4.7	DAT_VK_07	58
5.4.8	DAT_VK_08	59
5.4.9	DAT_VK_09	59
5.5	Zusammenfassung der Versuche	59
6	Interpretation der Versuchsergebnisse	60
6.1	Einfluss der Rissbildung	60
6.2	Einfluss von Korrosionsschutzmaßnahmen	61
6.3	Sonstige Anmerkungen zu den Versuchen	62
6.4	Zusammenfassende Interpretation der Versuche	63
7	Resümee und Zusammenfassung	64
8	Literaturverzeichnis	65
9	Anhang 1	71
10	Anhang 2	73
11	Anhang 3	114

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Links: IBO-Mikropfahl; Rechts: Verrohrte Bohrung	3
Abb. 2:	Herstellverfahren für gebohrt hergestellte Mikropfähle (ÖNORM EN 14199:2016)	7
Abb. 3:	Mindestüberdeckung von Stahltraggliedern (ÖNORM EN 14199:2016)	8
Abb. 4:	Mikropfahlbock (Margreth, 2007)	11
Abb. 5:	Zusammensetzung der Kriech- und Gleitgeschwindigkeit einer Schneedecke (Margreth, 2007)	12
Abb. 6:	Anbruch einer Schneebrettlawine (Margreth, 2007)	12
Abb. 7:	Klassifizierung der Lawinenanbruchverbauungen (Margreth, 2007)..	13
Abb. 8:	Stahlschneebrücke (Margreth, 2007)	14
Abb. 9:	Riegelwerk (Margreth, 2007).....	15
Abb. 10:	System eine Schneesetzes (Margreth, 2007)	16
Abb. 11:	Statische Systeme der Lawinenverbauung (Margreth, 2007)	18
Abb. 12:	Teilsicherheitsbeiwerte bei Trägerfundierungen (ONR 24806:2011).	18
Abb. 13:	Mikropfahlbock (ONR 24806:2011)	19
Abb. 14:	Abrostungszuschlag gemäß Tabelle 15 ONR 24806:2011, Maßangaben in mm (ONR 24806:2011)	21
Abb. 15:	Systemtypen von Netzsperrern; (A) Seilsperrern; (B) Netzsperrern; (C) Netzsperrern, Murgangbarrieren (Bergmeister, 2009).....	22
Abb. 16:	Standartausführung der Verankerung (GEOBRUGG AG).....	23
Abb. 17:	Systemkomponenten GEOBRUGG SL150 (GEOBRUGG AG) ...	23
Abb. 18:	Systemskizze Attenuator (Trumer Schutzbauten)	24
Abb. 19:	Steinschlagschutznetz (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2013)	25
Abb. 20:	Vergleich starrer Systeme	26
Abb. 21:	Vergleich gelenkiger Systeme	27
Abb. 22:	Attenuator Systemwirkung (GEOBRUGG AG)	27
Abb. 23:	Canopy Systemwirkung (GEOBRUGG AG)	28
Abb. 24:	Abrostungszuschlag in mm gemäß ONR 24810:2017 (ONR 24810:2017)	32
Abb. 25:	Hochtemperaturkorrosion (Wöls, 2020)	35
Abb. 26:	Metallphysikalische Korrosion durch Metalle und Wasserstoff (Tostmann, 2005)	36
Abb. 27:	Wasserstoffindizierte Korrosion (Tostmann, 2005)	36
Abb. 28:	Galvanische Spannungsreihe (Tostmann, 2005).....	37
Abb. 29:	Schematische Darstellung der Muldenkorrosion (Tostmann, 2005)	39
Abb. 30:	Darstellung der Lochfraßkorrosion (Briehl, 2008)	39
Abb. 31:	Darstellung der Spaltkorrosion (Tostmann, 2005).....	40
Abb. 32:	Überblick der mechanischen und stofflichen Einflüsse auf die Korrosion (Tostmann, 2005)	41

Abb. 33:	Spannungsrisskorrosion bei Stählen (Tostmann, 2005)	42
Abb. 34:	Opferanodenschaltung (Briehl, 2008)	45
Abb. 35:	Fremdstromschaltung (Briehl, 2008).....	46
Abb. 36:	Darstellung des Versuchsaufbau im Längsschnitt.....	48
Abb. 37:	Herstellung der Versuchskörper; Links: Skizze; Rechts: Betonage der Versuchskörper	50
Abb. 38:	Künstliche Schädigungen an der Zementsteinüberdeckung; Links: DAT_VK_02 – zwei parallele Schnitte; Rechts: DAT_VK_03 – keilartiger Einschnitt	51
Abb. 39:	Links: Riss entstanden während dem Entspannen; Rechts: Risse welche während dem Spannen entstanden sind und daher auch Korrosionsablagerungen aufwiesen.....	53
Abb. 40:	Oben: DAT_VK_01; Mitte: DAT_VK_02; Unten: DAT_VK_03..	53
Abb. 41:	Links: nach dem Ausbau und vor der Querschnittsfreilegung; Mitte: nach dem Einschneiden des Betonkörpers; Rechts: nach dem händischen freilegen des Querschnittes	54
Abb. 42:	DAT_VK_01; Oben: vor der Versuchsauswertung; Unten: Teilausschnitt nach der Versuchsauswertung.....	54
Abb. 43:	Links: Angeschnittene Abstandhalter und leicht lösbarer Mörtel, Mitte: Elektrolyteinlagerung unter dem Abstandhalter, Rechts: Fortpflanzung des Risses A1 entlang des Abstandhalters	55
Abb. 44:	Links: Korrosion und Rissbild im Bereich eines Abstandhalters, Mitte: Korrosion durch Einlagerung des Elektrolytes in den Versuchskörper, Rechts: Korrosionserscheinungen in der Auflagefläche des Abstandhalters	55
Abb. 45:	Links: Rissbild des Versuchskörpers, Mitte: Längsriss B1, Rechts: Korrosion durch Längsriss B1	56
Abb. 46:	Links: Einfluss der Querschnittsschwächung auf die Korrosion, Mitte: Oberer Abstandhalter, Rechts: Unterer Abstandhalter	56
Abb. 47:	Links: Ablagerungen im Bereich des Einschnittes, Mitte: DAT_VK_03 nach der Korrosion, Rechts: Einschnitt während des Freilegens .	57
Abb. 48:	Links: Korrosion im Bereich der Schwächung, Mitte: Rissbild beim oberen Abstandhalter, Rechts: unterer Abstandhalter	57
Abb. 49:	Links: Versuchskörper mit Meterstab, Mitte: Korrosion mittig im Stab, Rechts: Einfluss Abstandhalter.....	57
Abb. 50:	Links: Versuchskörper mit Meterstab; Mitte: Querriss B mit Korrosionsablagerung; Rechts: Korrosion am Bewehrungsstab	58
Abb. 51:	Beschädigung der Verzinkung im Bereich der Muffe.....	58
Abb. 52:	Links: Zweiter Korrosionsabschnitt; Mitte: DAT_VK_06 nach dem Ausbau; Rechts: Freigelegter Bewehrungsstab	58
Abb. 53:	Links: Unteres Ende mit verbleibenden Betonkörper; Mitte: Mitte Stab mit Korrosionsschäden; Rechts: Oberes Stabende	59
Abb. 54:	Korrosion über die gesamte Länge der Korrosionswanne.....	60
Abb. 55:	Links: Querrisse beim Spannen; Rechts: Längsriss nach dem Ausbau	61

Abb. 56:	Beispiele für Korrosionsprodukte	61
Abb. 57	Lochfraßkorrosion bei DAT_VK_04.....	62
Abb. 58:	Beispiele für Korrosionsprodukte in Luftporen bzw. Verdichtungsnestern.....	63

Formelzeichen und Abkürzungen

Kleine Buchstaben

kJ	Kilojoule
h	Stunde

Große Buchstaben

BMK	-	Bundeministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technik
PVC	-	Polyvinylchlorid
RDS	-	Rohrdurchführungssystem
GEO	-	Geotechnischer Nachweis
STR	-	Tragfähigkeitsnachweis
ETAG	-	European Technical Approval Guideline
MEL	-	Maximum Energy Level
SEL	-	Service Energy Level
KKS	-	Kathodischer Korrosionsschutz
Mrd	-	Milliarden
ASCE	-	American Society of Civil Engineers
DM	-	Durchmesser
DN	-	Diameter Nominal
DAT	-	Dauerhaftigkeit in der Ankertechnik
VK	-	Versuchskörper

1 Einleitung

In dieser Arbeit soll die Rissbildung an unterschiedlichen zugbeanspruchten Mikropfählen nachgebildet werden. Die Nachbildung der Rissbildung entspricht jedoch nicht der Realität, da Faktoren wie beispielsweise Erddruck nicht abgebildet werden konnten. Um den Einfluss der Rissbreite auf die Korrosion nachzubilden, wurden Versuchskörper mit unterschiedlichen Korrosionsschutz Maßnahmen in drei Chargen hergestellt.

Die Chargen eins und zwei wurden händisch im Labor betoniert. Dabei fungierte ein PVC-Rohr mit DN 100 als Schalung, für die Bewehrung wurde ein SAS 670 Stahlstab der Firma ANP Systems GMBH verwendet und für den Verpresskörper wurde ein Ankermörtel der Firma Röfix verwendet. Um den Abstand zwischen Schalrohr und Bewehrung sicherzustellen, wurden Abstandhalter verwendet. Die Charge drei wurde von der Firma ANP Systems GMBH hergestellt und geliefert.

Die Verpresskörper wurden nach dem Aushärten ausgeschalt, in eine Korrosionswanne und danach in einen Ankerprüfrahmen eingebaut. Die Korrosionswanne bestand aus PVC-Formstücken und wurde mittels RDS an den Seiten abgedichtet. In dieser Korrosionswanne wurde der Korrosionsprozess nachgebildet. Die Versuchskörper wurden zentrisch in den Ankerprüfrahmen eingebaut und auf Zug belastet.

Der Korrosionsprozess wurde mit Hilfe einer elektrochemischen Reaktion nachgebildet. Die Korrosionsgeschwindigkeit, welche diesen Versuchen zugrunde liegt, entspricht einem Vielfachen der Natürlichen. Für die Nachbildung der Korrosion wurde ein Elektrolyt in Form einer Natriumchlorid Lösung verwendet. Die Anode bildete der Bewehrungsstab und die Kathode zwei Kupferrohre, welche in die Korrosionswanne eingelegt wurden. Um einen Elektronenfluss zu erhalten, wurden ein Batterieladegerät als Spannungsquelle verwendet. Der Pluspol wurde mit der Bewehrung und der Minuspol mit den Kupferstäben verbunden.

Nachdem die Versuchskörper unter Last korrodiert hatten, wurden sie wieder ausgebaut und es wurde mit der Versuchsauswertung begonnen.

Den Abschluss dieser Arbeit bildet ein Resümee über die gewonnenen Erkenntnisse und Beobachtungen, die während der Versuchsdurchführung und durch die Versuchsauswertung gewonnen werden konnten.

2 Mikropfähle

Der Hauptteil dieser Arbeit besteht in Untersuchungen zum Korrosionsverhalten bei Mikropfählen für Schutzbauten. Daher wird in diesem Kapitel kurz auf die Randbedingungen und Anforderungen bei diesen Spezialtiefbaulementen eingegangen. Eine allgemeine Beschreibung zu Zugelementen in der Geotechnik ist in der gleichzeitig erstellten Diplomarbeit von Cornelius Dold (2021) gegeben.

2.1 Allgemeines

Mikropfähle sind Verpresspfähle, welche mit einem Pfahldurchmesser kleiner 300 mm ausgeführt werden. Grundsätzlich wird unterschieden, ob Mikropfähle gebohrt oder gerammt hergestellt werden. Bei gebohrt hergestellten Pfählen spricht man von einem Mikropfahl bei einem Durchmesser < 300 mm bei gerammt hergestellten Pfählen spricht man von einem Mikropfahl bei einem Durchmesser < 150 mm. Sie sind weitgehend lärm- und erschütterungsarm in der Herstellung, sehr anpassungsfähig, können auch unter beengten Platzverhältnissen hergestellt werden und ihre äußere Tragfähigkeit kann durch Nachverpressen erhöht werden. Mikropfähle werden mit einem zentralen Bewehrungsstab oder Rohr hergestellt. Sie können sowohl auf Zug-, Druck- aber auch Wechsellast beansprucht werden. Die Kraftübertragung in den Baugrund erfolgt durch ein- oder mehrmaliges Verpressen des Bohrloches mit Zementmörtel oder Beton. Die Lastabtragung erfolgt bei Druck beanspruchten Mikropfählen über die Mantelreibung und den Spitzendruck. Zugbeanspruchte Mikropfähle tragen die Last rein über Mantelreibung in den Untergrund ab.

Mikropfähle werden nach Kempfert und Moormann (Witt, 2018) unterschieden in:

- Ortbetonpfähle mit durchgehender Längsbewehrung aus Betonstahl. Der erforderliche Mindestschaftdurchmesser beträgt hierbei 150 mm. Als Mindestschaftdurchmesser wird der erforderliche Pfahldurchmesser zwischen Kopf und Fuß des Mikropfahles verstanden, welcher sich durch den Durchmesser der Bewehrung und der Überdeckung mit Verpressgut (Zement oder Beton) ergibt. Die erforderliche Betondeckung ist abhängig vom Angriffsgrad des Grundwassers und des Baugrunds.
- Verbundpfähle mit einem Tragglied aus Stahl oder Stahlbeton. Der erforderliche Mindestschaftdurchmesser beträgt hierbei 100 mm. Das Tragglied wird bei Verbundpfählen in den gebohrten Hohlraum eingebracht. Dieser kann bereits mit frisch eingebrachtem Mörtel gefüllt sein, der beim Einbringen des Pfahles verdrängt wird.

Nachfolgend wird auf die Herstellung von Mikropfählen, deren Anwendungsgebiete sowie unterschiedliche Systeme bzw. die dazu erforderlichen normativen Grundlagen näher eingegangen.

2.2 Herstellung von Mikropfählen

Geböhrt hergestellte Mikropfähle werden im unverrohrten oder verrohrten Bohrverfahren hergestellt. Dabei können selbstbohrende Elemente (verlorene Bohrkronen) mit Zementsuspension verwendet werden oder die Längsbewehrung in das mit Frischmörtel verfüllte Bohrloch eingebracht werden.

Mit verlorener Bohrkronen hergestellte Mikropfähle (z.B. System IBO), werden durch das dreh Schlagende Einbringen eines Hohlstabes (vgl. Abb. 1 Links) in den Untergrund hergestellt. Dabei wird im Regelfall durch die Seele des Hohlstabes eine Suspensionsspülung bis zur Bohrkronen gefördert, welche zum einen das Bohrloch vor einem Verbruch sichert und zum anderen nach entsprechender Aushärtung auch den Verpresskörper des Mikropfähles bildet.



Abb. 1: Links: IBO-Mikropfahl; Rechts: Verrohrte Bohrung

Im Gegensatz hierzu wird bei verrohrt hergestellten Mikropfählen ein Bohrrohr in den Untergrund eingebracht, welches zur Stützung des Bohrloches dient. Die Verrohrung wird nach dem Einbringen des Zügelementes und dem Verfüllen des Ringraumes gezogen. Bei dieser Herstellungsmethode ist – im Gegensatz zu selbstbohrenden Mikropfählen – auch die Anbringung von Verfüll- und Verpressschläuchen möglich. Dadurch ist eine Nachverpressung möglich. Beim Nachverpressen wird eine Zementsuspension unter Druck eingebracht, wodurch ein Aufreißen des Verpresskörpers stattfindet. Dadurch findet eine zusätzliche Verspannung zwischen dem Verpresskörper und dem Untergrund und daraus folgend eine Erhöhung der Tragfähigkeit statt.

2.3 Anwendungsgebiete

Mikropfähle wurden im Zuge ihrer Entwicklung für eine Vielzahl an Einsatzgebieten konzeptioniert und speziell angepasst. Angewendet werden Mikropfähle heute in Bereichen, wo ihre spezifischen Eigenschaften Vorteile bringen, beziehungsweise eine technische und wirtschaftliche Lösung erreicht werden kann. Zu ihren Vorteilen zählen nach Kempfert und Moormann (Witt, 2018):

- Hohe Tragfähigkeiten bei kleinem Durchmesser;
- Belastungen auf Zug und/oder Druck beziehungsweise Wechselbeanspruchungen;
- Meist einfache Anschlusselemente;
- Fast beliebige Neigung dank der Eigenschaften der Bohrgeräte und durch die Verpresstechnik;
- Installation unter räumlich begrenzten Bedingungen möglich;
- Arbeiten in Gebirgen;
- Geringe Umweltbelastung durch geringe Aushubmengen, Lärmbelastung und Erschütterungen.

2.4 Systeme

In Österreich sind verschiedene gebohrt hergestellte Mikropfählsysteme von unterschiedlichen Herstellern zugelassen. Sie funktionieren nach den gleichen Prinzipien, unterscheiden sich aber in ihrer Ausführung. Folgende Tab. 1 soll einen Überblick über die verschiedenen, vom BMK (Bundesministerium für Klimaschutz) zugelassenen Systeme und ihren Korrosionsschutz für eine Nutzung als Dauerpfahl geben.

Tab. 1: Zugelassene Mikropfählsysteme

System	Tragglied	Korrosionsschutz
Gewi® Plus Mikropfahl, DSI Underground Austria GmbH Gültigkeit der Zulassung bis: 20.03.2025	Stabstahl AMTB 670/800 mit Gewinderippung	<ul style="list-style-type: none"> • Berücksichtigung einer Abrostrate für blanke oder feuerverzinkte Tragglieder • Ausbilden eines Verpresskörpers mit 25 bis 45 mm Mindestüberdeckung • Dauerkorrosionsschutz mit Verrohrung nach ÖNORM EN 1537
DYWI® Drill Hohlstab System, DSI Underground Austria GmbH Gültigkeit der Zulassung bis: 20.04.2024	Hohlstab mit linksgängigem Rundgewinde	<ul style="list-style-type: none"> • Berücksichtigung einer Abrostrate für blanke oder feuerverzinkte Tragglieder • Ausbilden eines Verpresskörpers mit 25 bis 45 mm Mindestüberdeckung
DYWI® Drill Hohlstab-System als zugbeanspruchte Verpresspfähle	Hohlstab mit linksgängigem Rundgewinde	<ul style="list-style-type: none"> • Berücksichtigung einer Abrostrate für blanke oder feuerverzinkte Tragglieder • Ausbilden eines Verpresskörpers mit

<p>DSI Underground Austria GmbH</p> <p>Gültigkeit der Zulassung bis: 06.10.2025</p>		<p>35 bis 45 mm Mindestüberdeckung</p>
<p>SHS-Mikropfahl Typ H, ANP – Systems GMBH</p> <p>Gültigkeit der Zulassung bis: 05.12.2021</p>	<p>Selbstbohrhohlstab mit linksgängigem Rundgewinde</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Berücksichtigung einer Abrostrate, Einkapselung durch Ausbildung eines Verpresskörpers mit mindestens 15 mm Überdeckung • Oberflächenbeschichtung durch Feuerverzinkung mit Berücksichtigung einer Abrostrate • Zusätzlich eine systembedingte Einkapselung durch Ausbildung eines Verpresskörpers mit mindestens 15 mm Überdeckung
<p>Mikropfahl SAS 550, ANP – Systems GMBH</p> <p>Gültigkeit der Zulassung bis: 23.03.2021</p>	<p>Stahlstab mit linksgängiger Gewinderippung</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Berücksichtigung einer Abrostrate, Nutzungsdauer bis zu 50 Jahren • Oberflächenbeschichtung durch Feuerverzinkung • Einkapselung durch Ausbilden eines Verpresskörper bei einer vorgegebenen Mindestüberdeckung • Dauerkorrosionsschutz mit Verrohrung nach ÖNORM EN 1537
<p>Mikropfahl SAS 670, ANP – Systems GMBH</p> <p>Gültigkeit der Zulassung bis: 16.04.2023</p>	<p>Stabstahl mit Gewinderippung</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Berücksichtigung einer Abrostrate, Nutzungsdauer bis zu 50 Jahren • Oberflächenbeschichtung durch Feuerverzinkung Zinkschichtdicke mit mindestens 150 µm • Einkapselung durch Ausbilden eines Verpresskörpers mit einer Mindestüberdeckung von 25 bis 45 mm

		<ul style="list-style-type: none"> • Dauerkorrosionsschutz mit Verrohrung nach ÖNORM EN 1537
Selbstbohrender Mikropfahl, System Minova MAI; Minova MAI GmbH Gültigkeit der Zulassung bis: 26.06.2022	Selbstbohrhohlstab	<ul style="list-style-type: none"> • Oberflächenbeschichtung durch Feuerverzinkung • Oberflächenbeschichtung durch Feuerverzinkung mit doppelter Epoxy-Beschichtung, TwinCoat genannt
Mikropfahl SAS 550, Stahlwerke Annahütte Max Aicher GmbH & Co. KG Gültigkeit der Zulassung bis: 23.01.2025	Stabstahl mit Gewinderippung	<ul style="list-style-type: none"> • Berücksichtigung einer Abrostrate, Nutzungsdauer bis zu 50 Jahren • Oberflächenbeschichtung durch Feuerverzinkung mit einer Zinkschichtdicke von mindestens 85 µm • Einkapselung durch Ausbilden eines Verpresskörpers mit einer Mindestüberdeckung von 25 bis 45 mm. • Dauerkorrosionsschutz mit Verrohrung nach ÖNORM EN 1537

2.5 Normen und Regelwerke

Die Definition und Ausführung von Mikropfählen ist in ÖNORM EN 14199:2016 festgehalten. In dieser Norm werden die allgemeinen Grundlagen für die Herstellung von Mikropfählen festgelegt. Die Bestimmungen dieser Norm gelten für:

- Einzelne Mikropfähle;
- Gruppen von Mikropfählen;
- Netzwerke von Mikropfählen;
- Wände aus Mikropfählen.

In dieser Norm werden des Weiteren alle relevanten bautechnischen Schritte bei der Herstellung von Mikropfählen erläutert. Aufgrund des Umfangs dieser Maßnahmen wird hier nur auf die Herstellung, die Mindestüberdeckung von Stahltraggliedern, die Ermittlung des Pfahlwiderstandes, Nachweiskonzepte und die Überprüfung von Mikropfählen eingegangen.

Die Herstellungsverfahren von Mikropfählen werden in ÖNORM EN 14199:2016 behandelt und in der nachfolgenden Abb. 2 dargestellt. Sofern nicht gesondert festgelegt, gelten die Herstellungstoleranzen der ÖNORM EN 14199:2016. Diese betragen:

- Grundrissanordnung von vertikalen und geneigten Mikropfählen, gemessen auf Höhe der Arbeitsebene: $\leq 0,10$ m;
- Abweichung von der Soll-Achse.
 - für vertikale Mikropfähle: max. 2 % der Pfahllänge;
 - für geneigte Mikropfähle: $n \geq 4$: max. 4 % der Pfahllänge;
- für geneigte Mikropfähle: $n < 4$: max. 6 % der Pfahllänge;
- maximale Winkelabweichung am Anschluss: 1/150 rad.

Einbauverfahren	Bewehrungstyp	Verfüll-/Verpressverfahren	Verpressgut	Optionen
Spülbohrverfahren Schlagbohrverfahren Bohrverfahren mit Greifer oder Meißel	Bewehrungskorb	Verfüllen, Betonieren	Verpressmörtel, Zementmörtel/Feinkornbeton oder Beton	Verrohrung
		Verpressen in einem Schritt durch temporäre Verrohrung	Verpress- oder Zementmörtel/Feinkornbeton	
	Tragglied — Vollstäbe — Hohlstäbe — Rohre — Profile	Verfüllen, Betonieren	Verpressmörtel, Zementmörtel/Feinkornbeton oder Beton	Verrohrung
		Verpressen in einem Schritt durch: — die temporäre Verrohrung; — das Tragglied; — Manschettenrohre.	Verpressmörtel	
		Verpressen in mehreren Schritten durch: — die Manschettenrohre — spezielle Ventile — Nachverpressrohre	Verpressmörtel	Schaftaufweitung
		Verpressen während des Bohrens	Verpressmörtel	Mehrfachverpressen durch das Tragglied
Verbleibende Verrohrung (mit oder ohne Bewehrungskorb)	Verfüllen oder Betonieren	Verpressmörtel, Zementmörtel/Feinkornbeton oder Beton	Fußaufweitung	
Bohren mit segmentierter Hohlbohrschnecke	Bewehrungskorb Tragglied	Verpressen oder Betonieren durch das Seelenrohr der Schnecke	Verpressmörtel, Zementmörtel/Feinkornbeton oder Beton	

Abb. 2: Herstellverfahren für gebohrt hergestellte Mikropfähle (ÖNORM EN 14199:2016)

Des Weiteren wird in dieser Norm in Anhang B ein Hinweis auf die Mindestüberdeckung für Tragglieder aus Stahl gegeben. Die Mindestüberdeckung ist der nachfolgenden Abb. 3 zu entnehmen.

Expositions- klasse ^a	Chemische Aggressivität	Tragglied mit Verpressmörtel- überdeckung		Tragglied mit Mörtel	
		Druck	Zug	Druck	Zug
X0	Mit dauerhafter Verrohrung	10	10	25	25
X0, XC1 – XC4	Nicht vorhanden	20 ^b	20 ^b	35	40
XD1, XD2	Chlorid, ausgenommen Salzwasser	20	20	35	40
XS1	Chlorid aus Salzwasser	20	20	35	40

^a Für andere Expositionsclassen in EN 206 wird die Mindestüberdeckung in EN 1992-1-1:2004, Abschnitt 4 und im gültigen Nationalen Anhang angegeben.

^b Für eine Betriebslebensdauer von maximal 5 Jahren darf die Mindestüberdeckung mit Verpressmörtel auf 10 mm verringert werden.

Abb. 3: Mindestüberdeckung von Stahltraggliedern (ÖNORM EN 14199:2016)

Die Ermittlung des Pfahlwiderstandes ist in ÖNORM EN 1997-1-3:2015 definiert. Hierbei wird zwischen Druck und/oder Zug beanspruchten Pfählen unterschieden. Dabei ist je nach Beanspruchung des Pfahles folgender Pfahlwiderstand zu berücksichtigen:

- Fuß – bzw. Sohlaufweitung bei Druckpfählen. Bei Zugpfählen nur, wenn eine zugfeste Fußaufweitung vorhanden ist
- Mantelwiderstand
- Widerstand transversal zur Achse belasteter Pfähle infolge seitlicher Bettung

Die charakteristischen axialen Werte der Pfahlwiderstände können gemäß ÖNORM EN 1997-1-3:2015 mit folgenden Möglichkeiten ermittelt werden:

- Statische Pfahlprobelastung gemäß ÖNORM EN 1997-1-3:2015;
- Dynamische Pfahlprobelastung;
- Auswertung von Proberammungen für auf Druck beanspruchte Verdrängungspfähle;
- Berechnungen mit Tabellenwerten für axiale Druck und/oder Zug Bohrpfähle;
- Ermittlung von Pfahlwiderständen von axial auf Druck belasteten Mikropfählen gemäß ÖNORM EN 1997-1-3:2015;
- Ermittlung der Pfahlwiderstände mit Hilfe von Erfahrungswerten von ausgeführten Pfahlgründungen und/oder Probelastungen, unter Nachweis der Zuverlässigkeit unter vergleichbaren Bedingungen.

Das Nachweiskonzept der Norm sieht eine Unterscheidung für den Grenzzustand der Tragfähigkeit vor:

- Erreichen des äußeren Tragwiderstandes,
- Anheben des Bodenkörpers, welcher an Zugpfählen hängt,
- Knicken von schlanken Pfählen,
- Erreichen des inneren Tragwiderstandes.

Der Nachweis für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist projektspezifisch und leitet sich aus den Anforderungen an das gesamte Tragwerk ab. Im Regelfall sind absolute Setzungen und/oder Setzungsdifferenzen maßgebend. Stauchung sowie Dehnung der Pfähle sind hierbei zu berücksichtigen.

Verpresspfähle werden stets mittels statischer Probelastung geprüft. Bei zugbeanspruchten Verpresspfählen sind Probelastungen an mindestens 3% der Pfähle bzw. an mindestens drei Pfählen durchzuführen. Diese Prüfungen sind so durchzuführen, dass sie dem gewählten statischen Modell entsprechen. *„Als Versagenskriterium in zum Kriechen neigenden Böden ist ein zulässiges Kriechmaß von $k_s \leq 2,0 \text{ mm}$ anzuwenden.“* (ÖNORM EN 1997-1-1:2013)

3 Mikropfähle bei Schutzbauten

Nach den kurzen Ausführungen zu Mikropfählen in Kapitel 2 wird nachfolgend detaillierter auf die Anforderungen in Bezug auf die Nutzung derartiger Tragelemente bei Schutzbauten eingegangen. Hierbei werden die Bereiche des Technischen Lawinenschutzes, des Vermurungsschutzes und des Technischen Steinschlagschutzes näher ausgeführt.

3.1 Technischer Lawinenschutz

Der Technische Lawinenschutz ist mit einer Vielzahl von Möglichkeiten realisierbar. In dieser Arbeit werden lediglich Varianten mit zugbelasteter Verankerung berücksichtigt. Zu diesen Varianten zählen Stahlschneebrücken in verschiedensten Ausführungen und Schneesetze. Durch unterschiedlichste Parameter wie Schneehöhe, Gleitfaktor und Werktyp, können beachtliche Kräfte entstehen, welche in den Fels oder Boden (den Untergrund im Allgemeinen) übertragen werden müssen. Die Wahl der Fundierung richtet sich in erster Linie nach eingesetztem Werktyp sowie den Untergrundverhältnissen. Die Möglichkeit von Bohr- und Injektionsverfahren sowie die Manipulation von Lasten auf der Baustelle bilden einen weiteren zu berücksichtigenden Faktor.

„Für auf Zug beanspruchte Verankerungen werden in der Praxis starre Stabanker, Mikropfahlböcke (zwei Mikropfähle, welche über einen Bolzen zu einem Bock verbunden werden), Selbstbohranker oder Seilanker eingesetzt.“ (Margreth, 2007) Ein Beispiel für einen Mikropfahlbock ist in Abb. 4 dargestellt. Bei Lockergestein können neben verrohrt hergestellten und Selbstbohrankern auch Sprenganker eingesetzt werden. Sprenganker werden hergestellt, in dem eine Sprengladung über ein Metallrohr in das Bohrlochtiefe eingebracht wird und dort gezündet wird. Dadurch soll ein birnenförmiger Hohlraum ausgebildet werden. Nach der Sprengung wird ein Bewehrungselement in das aufgesprengte Metallrohr oder Bohrloch eingeführt und mittels Injektion verpresst. Aufgrund der fortgeschrittenen Bohrtechnik, der Möglichkeit des Einsatzes von Selbstbohrankern und der Wirtschaftlichkeit werden solche Sprenganker heutzutage nicht mehr eingesetzt.

Bei Biegebeanspruchung des Ankers können Schäden an der Fundierung bzw. dem Anker selbst auftreten, weshalb Seilanker hier einen Vorteil haben. *„Für die auf Druck beanspruchten Verankerungen (Fundierungen) werden Grundplatten ohne Anker, Grundplatten mit Mikropfählen oder Mikropfahlssysteme eingesetzt, die Druck- und Zugkomponenten der Einwirkung getrennt voneinander in den Baugrund einleiten (Mikropfahlböcke).“ (Margreth, 2007)* Der Durchmesser der verwendeten gebohrten Mikropfähle beträgt 90 -100 mm. Sie bestehen aus einem zentrierten Zug- oder Druckglied aus Stahl des Kalibers 32 – 40 mm und einer Ummantelung bestehend aus Verpressgut (z.B. Ankermörtel, Ankerzement oder andere Injektionsmaterialien). Bei großer Porosität des umgebenden Bodenkörpers oder bei strömenden Grundwässern kann es notwendig sein, den Mikropfahl mit

einem Textilstrumpf zu ummanteln, um große Verluste an Verpressgut zu vermeiden.



Abb. 4: Mikropfahlbock (Margreth, 2007)

3.1.1 Lawinenanbruchverbauung

Lawinenanbruchverbauungen sind die häufigsten und wichtigsten baulichen Maßnahmen am Lawinenanbruchgebiet. Die unterschiedlichen Bautypen stützen die Schneedecke ab und verhindern damit das Entstehen von Lawinen. Die statische Bemessung der Bauwerke erfolgt auf die Einwirkung der Schneedecke im Hang. Die Anordnung und Gestaltung erfolgt derart, dass kleine Lawinenanbrüche innerhalb der Verbauung gebremst werden. Dadurch können sich diese Lawinen nicht zu (größeren) Schadlawinen entwickeln.

3.1.1.1 Wirkungsweise

Die Wirkung der Lawinenanbruchverbauung beruht auf einer Stauwirkung, welche erzeugt wird, in dem eine Stützfläche, mehr oder weniger in Fallrichtung des Hanges, welche bis an die Schneeoberfläche reicht, der kriechenden oder gleitenden Schneedecke entgeggestellt wird. Durch die Stauwirkung nehmen Kriech- und Gleitgeschwindigkeit hangabwärts dem Hindernis nähernd stetig ab. Die Zusammensetzung aus Kriech- und Gleitgeschwindigkeit ist Abb. 5 zu entnehmen. Innerhalb der Stauzone, welche eine Distanz zum Bauwerk von mindestens der dreifachen Höhe beschreibt, entstehen somit im Schnee zusätzliche hangparallele Druckspannungen, welche auf die Stützfläche des Bauwerks wirken.

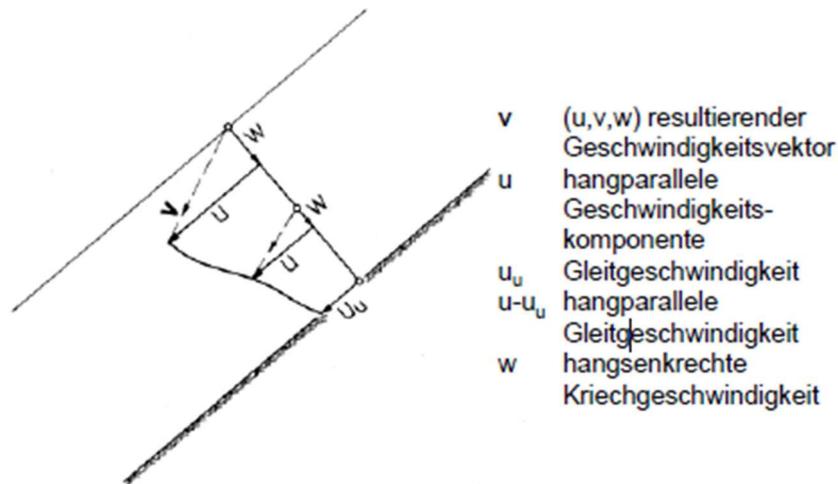


Abb. 5: Zusammensetzung der Kriech- und Gleitgeschwindigkeit einer Schneedecke (Margreth, 2007)

Durch Ausbildung dieser Druckspannungen kommt es zu einem Abbau der schneebrettbildenden Scher- und Zugspannungen in der Stauzone. Die Stützverbauung beschränkt somit das Gebiet, in welchem sich Scherrisse fortpflanzen können und somit zu einem Mitreißen der Altschneedecke führen würden. Durch ihre Wirkungsweise bieten Anbruchverbauungen einen flächenhaften Schutz der im Einflussbereich liegenden Gebiete. Des Weiteren schränken sie die Lawinengefahr durch eine Reduktion der Größe und Wahrscheinlichkeit eines Lawinenereignisses ein. In Abb. 6 ist die lokale Wirkungsweise der Anbruchverbauung ersichtlich.

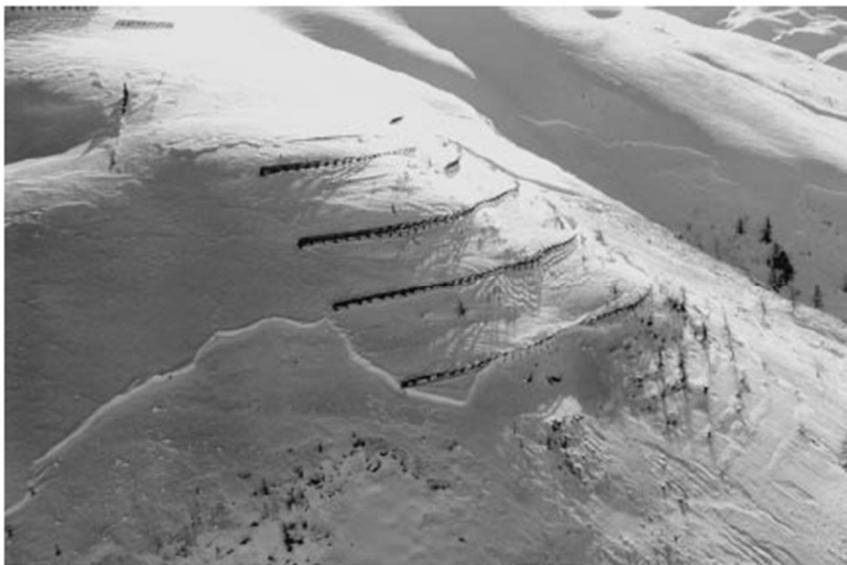


Abb. 6: Anbruch einer Schneebrettlawine (Margreth, 2007)

3.1.1.2 Klassifizierung von Lawinenanbruchverbauungen

Lawinenstützwerke können nach Nutzungsdauer und Reaktion der Stützfläche, starr oder flexibel, klassifiziert werden. Dabei wird bei der Nutzungsdauer zwischen unter 50 Jahren und über 80 Jahren unterschieden. Lawinenstützwerke

mit einer Nutzungsdauer von über 80 Jahren werden in der Regel aus Stahl gefertigt. Stützwerke mit einer Nutzungsdauer unter 50 Jahren weisen in der Regel kleinere Werkhöhen auf und sind aus Holz gefertigt. Werke mit starren Stützflächen sind Schneebrücken, -rechen und massive Stützwerke. Zu den Stützbauwerken mit flexibler Stützfläche zählen Schneenetze. Der nachfolgenden Abb. 7 ist die Klassifizierung der Lawinenanbruchverbauungen zu entnehmen.

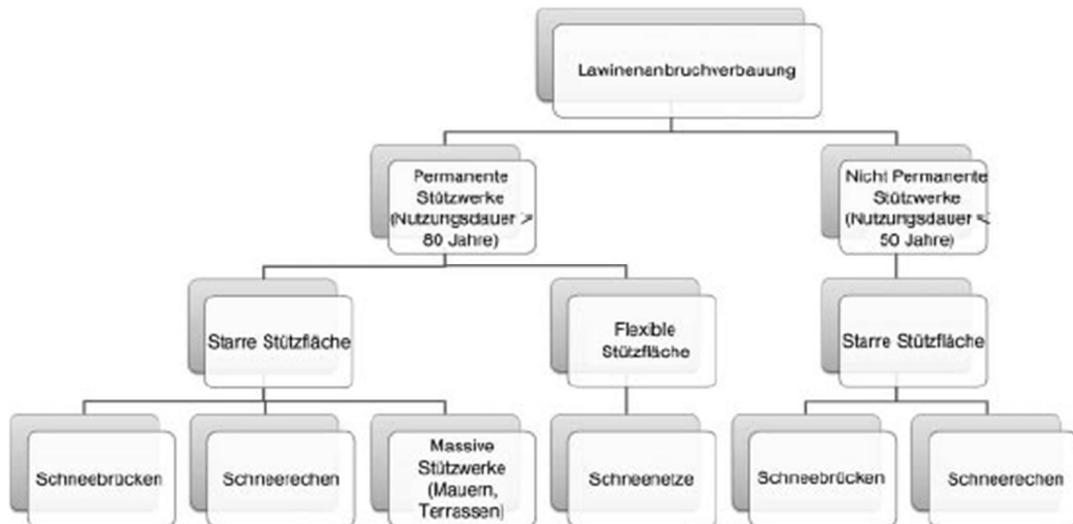


Abb. 7: Klassifizierung der Lawinenanbruchverbauungen (Margreth, 2007)

3.1.1.3 Stahlschneebrücke

„Klassische“ Schneebrücken bestehen aus zwei Stützen, zwei Trägern und Rostbalken. Die Anzahl der Rostbalken wird durch die Bauwerkshöhe bestimmt. Die Anschlüsse Träger-Stütze, Träger-Fundierung sowie Stütze-Grundplatte sind mittels Bolzen gelenkig ausgeführt. Die Träger sind 10 bis 15° talwärts zur Hangsenkrechten geneigt. Zwischen Stütze und Träger wird ein Winkel von 60 bis 70° ausgeführt. Die Rostbalken bestehen aus gewalzten oder gepressten hutförmigen Stahlbalken, welche mit einer Länge von 4 m ausgeführt werden. Ein Querschnitt einer Stahlschneebrücke ist in nachfolgender Abb. 8 dargestellt.

Schneebrücken werden in der Regel mit einem seitlichen Abstand von 2 m ausgeführt. Die Abstände werden mit Profilbalken, sogenannten Zwischenbalken, geschlossen. Die Zwischenbalken werden auf den verschraubten Rostbalken aufgelegt und mittels Klemmschiene befestigt. Die Zwischenbalken mit Klemmschiene werden als Zwischenwerk bezeichnet. Die etwas größeren Profile der Zwischenbalken gegenüber den Hauptbalken ermöglichen es, das Bauwerk geringfügig an die Geländeform anzupassen. Stahlschneebrücken werden meist für Schneehöhen von 2,50 m bis 4,50 m, in seltenen Fällen bis zu 5,00 m ausgeführt.

Stahlschneebrücken wurden im Laufe der Zeit wesentlich verändert und verbessert. Die ursprüngliche Bauweise der Stahlschneebrücke als Dreigelenksbogen wurde in den Fünfzigerjahren von schweizer und österreichischen Experten mit dem Unternehmen Voest-Alpine entwickelt und in

Österreich serienmäßig hergestellt. Der Oberbau hat sich bis heute unwesentlich verändert. Bemessen wird die Stahlschneebrücke nach der Schweizer Richtlinie für den permanenten Stützverbau (Margreth, 2007). Bis Mitte der Siebzigerjahre wurden vorwiegend Betonfundamente verwendet, um Stützen und Träger zu verankern. Selten wurden Grundplattenfundamente oder Rammfundierungen für die Trägerverankerung eingesetzt. Später sorgten kombinierte Beton-Sprengankerfundamente und reine Sprengankerfundamente für reduzierte Betonkubaturen und Aushubmassen. Mit Beginn der neunziger Jahre hat sich die Mikropfahlfundierung mit hohem Mechanisierungsgrad bei minimalen Aushub für Träger durchgesetzt.

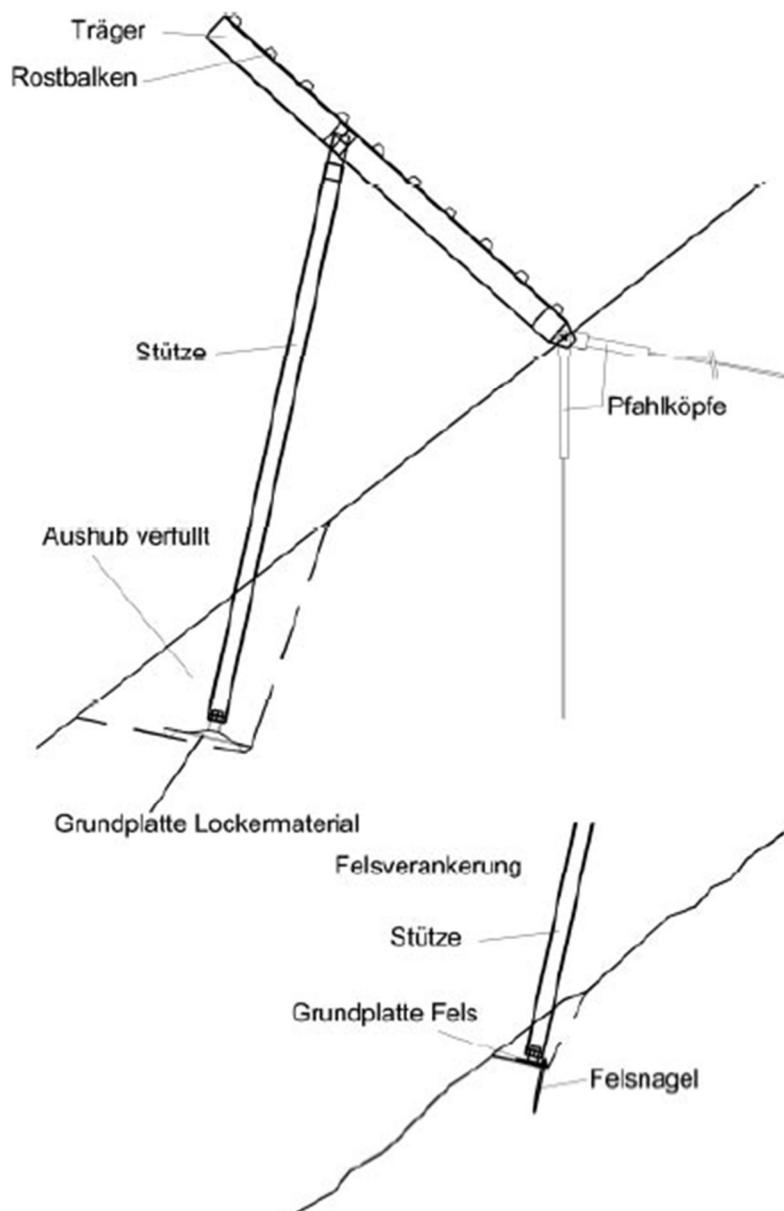


Abb. 8: Stahlschneebrücke (Margreth, 2007)

In der Schweiz wurde die Stahlschneebrücke in den Siebzigerjahren zum sogenannten Riegelwerk weiterentwickelt. Die Stützen in v-förmiger Anordnung tragen die auftretenden Kräfte auf Terrainhöhe direkt in eine Fußkonstruktion und

weiter in die Fundation ab. Die talseitige Fundation wird aus einem um 15° zur horizontalen geneigten Mikropfahl und einem Zuganker gebildet, welcher rechtwinklig angeschlossen ist. Je nach lokaler Topografie können Stützen und Riegel durch Teleskope in der Länge angepasst werden. Das Riegelwerk reagiert im Vergleich zum klassischen Dreigelenksbogen empfindlich auf Setzungen, stürzt jedoch auch bei einem Versagen der talseitigen Fundierung aufgrund seines steifen Rahmens nicht ein. In der Schweiz zählt es heute noch zu den am häufigsten eingesetzten Bautypen. In Abb. 9 ist ein Riegelwerk dargestellt.

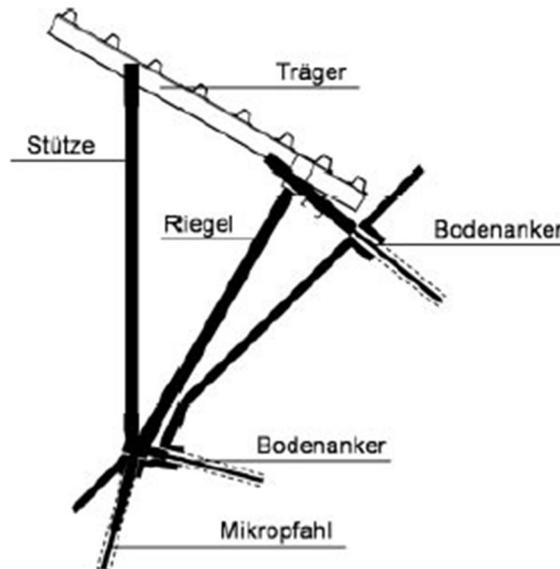


Abb. 9: Riegelwerk (Margreth, 2007)

3.1.1.4 Schneesetze

Schneesetze bestehen aus Pendelstützen, welche berg- und talseitig abgespannt, sowie mit flexiblen, dreieck- oder rechteckförmigen Drahtseilnetzen miteinander verbunden sind. Aufgrund der in der Länge anpassbaren Seilabspannungen sind die Verankerungspunkte in der exakten Position an die lokale Topografie und Bodenverhältnisse anpassbar.

Die verwendeten Drahtseile sind verzinkte Litzenseile. Netze und Abspannseile werden mit Bolzen oder Schäkeln am Stützkopf befestigt. Die Stütze besteht aus einem Rohr- oder HEA-Stahlprofil. Wird der Stützenfuß mit einem Kugelgelenk ausgebildet, kann sich die Stütze in alle Richtungen zwangungsfrei bewegen. Die Stützen werden um 10 bis 15° zur Vertikalen (bergseitig) geneigt. Der Durchhang des Netzes beträgt mindestens 15%. Da sich die Geometrie des Schneesetzes im Winter aufgrund der Schneehöhe ändert, haben sich Fundierungen wie Seilanker und Grundplatten durchgesetzt, da diese relativ unempfindlich auf Änderungen der Kraftrichtung sind. Der Stützenabstand beträgt in der Regel 3,50 bis 4,00 m, die Werkhöhe liegt zwischen 2,00 und 4,50 m. Durch den modularen Aufbau können beliebig lange Werkreihen hergestellt werden. Die Randfelder werden, um genügend Seitenstabilität zu erzeugen, mit dreiecksförmigen Netzen ausgeführt.

Aufgrund der flexiblen Stützfläche ist der Schneedruck etwas reduziert gegenüber Werken mit starren Stützflächen, auch das Montagegewicht fällt geringer aus. Die bergseitigen Verankerungskräfte sind allerdings im Vergleich zu Stahlschneebrücken sehr groß, sodass gute Fundierungsbedingungen, wie anstehender Fels, eine Voraussetzung für die Verwendung von Schneenetzen sind.

Die Netze bestehen aus Randseilen und 6 bis 8 mm starken Maschenseilen, welche mit Klemmen fixiert werden. Die Maschenweite beträgt 200 bis 250 mm, dadurch kann das Rückhaltevermögen der Schneenetze bei Lawinenanbrüchen unzureichend sein. Die Lösung dieses Problems bildet ein Drahtgeflecht mit Maschenweite von 2,50 x 2,50 cm oder 5,00 x 5,00 cm, mit welchem die Netze vollflächig oder streifenweise abgedeckt werden. Die verschiedenen Herstellerfirmen haben in den letzten Jahren spezielle Lawinenschutznetze mit hoher Leistungsfähigkeit auf den Markt gebracht.

In der Schweiz wurden die ersten Schneenetze 1951 gebaut. Die Stützen waren zunächst aus Holz, wurden jedoch bald aus Stahl gefertigt. Diese Schneenetze wurden rein „empirisch“ bemessen, woraus in der Anfangsphase teilweise großen Schäden resultierten. Die Systeme wurden aufgrund dieser Erfahrungswerte im Laufe der Zeit wesentlich verbessert. Schneenetze werden heutzutage weltweit eingesetzt und ihre Schadensanfälligkeit ist mit jener von Stahlschneebrücken vergleichbar. In Abb. 10 ist ein Schneenetz systematisch abgebildet.

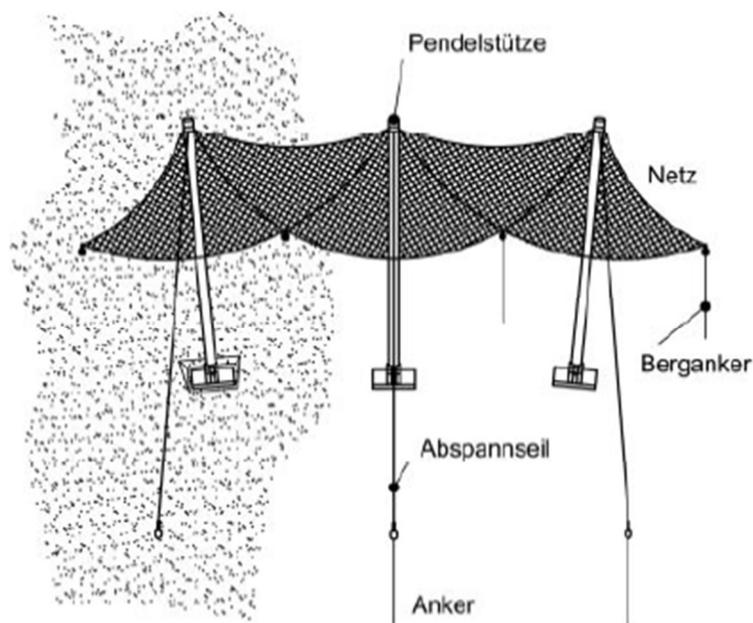


Abb. 10: System eines Schneenetzes (Margreth, 2007)

3.1.2 Bemessung der Fundierung bei Lawinenanbruchverbauungen

Für die Bemessung der Stützbauwerke gelten die Lastmodelle gemäß der Schweizer Norm für „Lawinenverbau im Anbruchgebiet“ Margreth, 2007. Der Schneedruck Lastmodel 1 setzt sich gemäß dieser Norm aus den Komponenten:

- Hangparalleler Schneedruck,
- Hangsenkrechter Schneedruck,
- Zuschlag bei nicht senkrechten Stützflächen, und
- Randkräften

zusammen. Der Angriffswinkel ergibt sich aus der Beziehung der hangparallelen und hangnormalen Schneedruckkräfte. Der Angriffspunkt der Resultierenden kann in halber Werkhöhe angenommen werden.

Der Schneedruck Lastmodel 2 berücksichtigt eine teilweise Einschneidung des Werkes und eine bezüglich Richtung und Größe gleichen Resultierenden wie Lastmodel 1. Die Besonderheiten dieses Lastmodells sind:

- ein tieferliegender Angriffspunkt der Resultierenden, sowie
- ein höherer spezifischer Schneedruck.

Stützen von starren und flexiblen Werken werden durch ein Anhängen der Schneedecke belastet. Dadurch entstehen hier talwärts gerichtete Druckkräfte. Dabei ist die Richtung der Linienlast senkrecht, und ihre Angriffslinie wirkt in der Stützenachse. Eigenlasten der Verbauung werden nur berücksichtigt, wenn sie von Bedeutung sind. Um genügend Seitensteifigkeit zu erreichen, wird eine beidseitige, parallel zur Niveaulinie wirkende Seitenkraft berücksichtigt. Sollte die Schneedruckresultierende im Grundriss nicht normal auf die Stützfläche wirken, so wird sie mit einem Randfaktor multipliziert. Anbruchverbauungen können durch einen bergwärts gerichteten Wind belastet werden. Diese Windkräfte sind zu berücksichtigen. Die Aufnahme der Kräfte von der Tragkonstruktion auf die Fundierung und den Untergrund ist sicherzustellen.

Bei Fundierungen von Stützen im Lockergestein werden in Österreich meist Druckplatten verwendet. Diese werden gemäß ÖNORM B 1997-1-1:2013 als Flachgründung bemessen. Verankerungen von Trägern werden hauptsächlich mittels Mikropfählen, gemäß ÖNORM EN 14199:2016 hergestellt. Dabei werden zwei Mikropfähle mittels Bolzen zu einem Mikropfahlbock (vgl. Abb. 4) vereint. Dieser Mikropfahlbock besteht aus einem vertikalen und einem um 10° zur Horizontalen geneigten Mikropfahl. Der horizontale Mikropfahl dient dazu die Zugkräfte aufzunehmen und der vertikale Mikropfahl nimmt die Druckkräfte auf. Bei der Fundierung sind Nachweise gegen das Versagen des Bauteiles (STR) und dem Stabilitätsverlust des Baugrundes (GEO) zu führen. Für Fundierungen von Stützbauwerken der Anbruchverbauung wird die Geotechnische Kategorie 1

festgelegt, da es sich um einfache und kleine Bauwerke handelt. Daher werden diese gemäß ONR 24807:2010 als Standardbauwerke eingestuft. Die am häufigsten verwendeten statischen Systeme für Lawinenverbauungen sind in nachfolgender Abb. 11 dargestellt, wobei für Anbruchverbauungen die Typen c bis f verwendet werden.

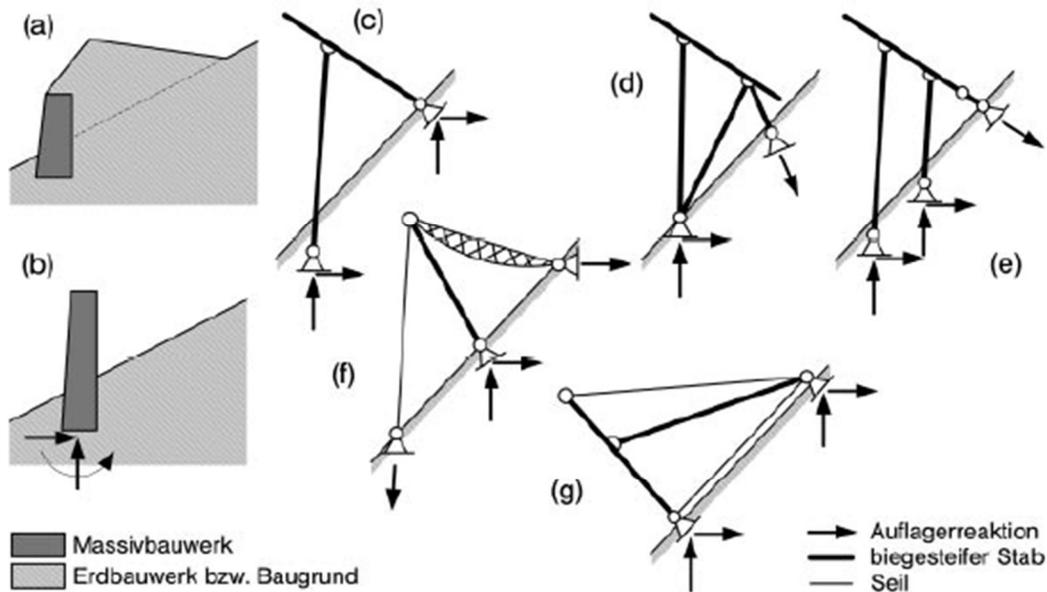


Bild 8-6 Statische Systeme von Lawinenstützwerken. Massive Systeme: (a) Erd-/Mauerwerksterrassen, (b) Stützmauern; Gegliederte Systeme: (c) bis (e) Biegesteife Systeme, (f) Schneenetz, (g) Glarner Hängewerk (© Suda, Margreth)

Abb. 11: Statische Systeme der Lawinenverbauung (Margreth, 2007)

Die Bemessung der Stützenfundierung erfolgt gemäß ONR 24806:2011 und wird in dieser Arbeit nicht weiter erläutert. Für die Bemessung der Trägerfundierung wird in ONR 24806:2011 auf die Teilsicherheitswerte gemäß ÖNORM B 1997-1-1:2010 verwiesen. Diese sind wie in folgender Abb. 12 dargestellt.

Widerstand	Symbol	Wert
Spitzendruck	γ_b	1,10
Mantelreibung (bei Druck)	γ_s	1,10
Gesamtwiderstand (bei Druck)	γ_t	1,10
Mantelreibung (bei Zug)	γ_{st}	1,15

Abb. 12: Teilsicherheitsbeiwerte bei Trägerfundierungen (ONR 24806:2011)

Üblicherweise wird die Fundierung als Mikropfahlbock ausgeführt. Die optimale Tragwirkung wird erreicht, wenn „die Schneedruckresultierende normal auf die Stützfläche wirkt.“ (ONR 24806:2011)

Gemäß ONR 24806:2011 gelten für Mikropfähle in Bezug auf den technischen Lawinenschutz folgende Anforderungen:

- Der minimale Bohrlochdurchmesser beträgt 90 mm bzw. im Fels ohne Überlagerung 70 mm. Ausnahmen sind bei der Verwendung von Selbstbohrankern zulässig, da bei diesem Verfahren auch bei geringen Kronendurchmessern die erforderliche Überdeckung zu erzielen ist. Ausnahmen sind ebenfalls bei der Fundierung von Holzschneebrücken zulässig, welche eine deutlich geringere Lebensdauer aufweisen.
- Bei Verwendung von Selbstbohrankern ist darauf zu achten, dass die Verpressung während des Bohrens erfolgt, um dadurch die erforderliche Ummantelung zu erzielen.
- Bei Verwendung von verbrauchsbeschränkenden Maßnahmen (z.B. Netzstrumpf, thixotrope Mörtel) bei der Injektion des Ringraumes sind in Kombination mit dem verwendeten Ankermörtel und den Einbaubedingungen auf der Baustelle jeweils Eignungsprüfungen durchzuführen und zu dokumentieren.
- Die Tragglieder sind im Bohrloch zu zentrieren.
- Die Mikropfähle sind nicht flacher als 10° gegen die Waagrechte einzubauen und vom Bohrloch tiefsten beginnend aus zu injizieren.
- Die Mörtelüberdeckung des Zug- und Druckgliedes muss mindestens 20 mm betragen.
- Zur Sicherstellung der Knicksicherheit der Kopfpartie sowie als Korrosionsschutz müssen Mikropfähle im Lockergestein, die auf Druck belastet werden, in Abhängigkeit von der Belastung bis mindestens 0,5 m tief mit Aussteifungsrohren, Betonsockeln oder Ähnlichem ausgesteift werden, siehe Abb. 13

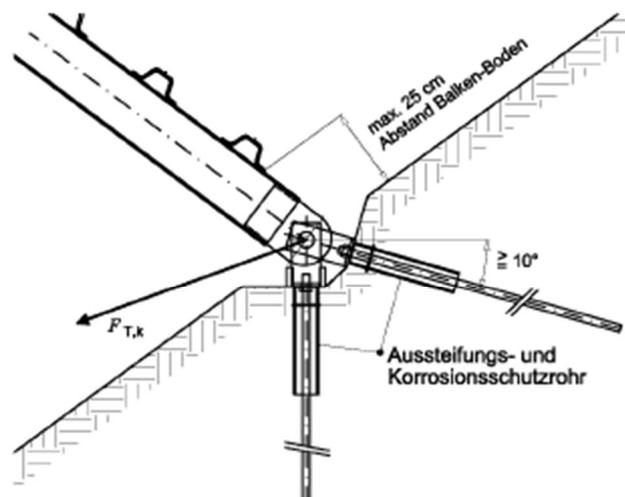


Bild 13 — Mikropfahlbock

Abb. 13: Mikropfahlbock (ONR 24806:2011)

Die Vorbemessung im Projektstadium erfolgt mittels Tabellenwerten, welche in der ONR 24806:2011 (Anhang B) zu finden sind. Diese charakteristischen Werte können auch in Ausnahmefällen, wenn keine Pfahlprobelastungen gemacht wurden, für die Bemessung herangezogen werden.

Die Eigenschaften des Baugrundes werden mit einer Pfahlprobebelastung ermittelt. Diese gibt Aufschluss darüber, welche Druck- und Zugkräfte vom Baugrund über die Mantelreibung sowie den Spitzendruck aufgenommen werden können. Diese Eigenschaften sind in jedem Baufeld zu erheben. Die Bemessung der Fundierung erfolgt auf den resultierenden Werten und wird nach ONR 24806:2011 durchgeführt.

Die Eignungsprüfung ist gemäß ONR 24806:2011 auszuführen und liefert den charakteristischen Baugrundwiderstand. Die Anzahl der Eignungsprüfungspfähle bestimmt den Streufaktor, um welchen der charakteristische Baugrundwiderstand abgemindert werden muss. Bei der Eignungsprüfung wird der Mikropfahl axial auf Zug bis zum Versagen bzw. dem Erreichen einer Prüfkraft statisch belastet. Die Last wird dabei in mehreren Laststufen aufgebracht. Die Be- und Entlastung hat allerdings so zu erfolgen, dass er weder stoßweise noch dynamisch belastet wird. Der Eignungsprüfungsmikropfahl hat dabei eine Länge aufzuweisen, bei der ein Versagen möglich ist. Bei der Eignungsprüfung wird der mittlere Grenzreibungswiderstand je Laufmeter des jeweiligen Baugrundes ermittelt. Die Widerlager des Prüfblockes müssen mindestens einen Abstand des fünffachen Bohrlochdurchmessers zum Bohrloch aufweisen. Das Bewehrungselement muss so gewählt werden, dass der maximal zu erwartende Grenzwert der Mantelreibung aufgenommen werden kann.

Die Abnahmeprüfung hat gemäß ONR 24806:2011 zu erfolgen. Es sind mindestens einer von 40 hergestellten, Zug belasteten Mikropfählen zu prüfen, jedoch mindestens drei pro Homogenbereich. Die Prüfkraft ist mit dem 1,25-fachen charakteristischen Bemessungswert festgelegt. Ziel der Prüfung ist die Erfassung des Ausziehwiiderstandes entlang der Kontaktfläche zwischen Boden und Mikropfahl. Daher sollten die Widerlager des Prüfbockes mindestens einen Abstand des fünffachen Bohrlochdurchmessers aufweisen. Die Abnahmeprüfung hat stufenweise zu erfolgen, die Prüfkraft muss mindestens über einen Zeitraum von fünf Minuten gehalten werden und darf dabei nicht den Wert des 1,1-fachen charakteristischen Bemessungswertes unterschreiten. Wird dieser Wert unterschritten, ist ein weiterer Prüfverlauf notwendig, in welchen die Pfahlkopfverschiebung gemessen wird, um sicherzugehen, dass der Mikropfahl nicht durch Ausziehen versagte.

Beim Korrosionsschutz für Verbauungen wird gemäß ONR 24806:2011 in Ober- und Unterbau unterschieden. Bodennahe Bauteile der Stützen und die Fundierungen sind korrosionsgeschützt auszubilden. Dies kann durch die Verwendung von rostfreien Stahl oder durch einen Abrostungszuschlag, gemäß der nachstehenden Abb. 14, erfolgen. Eine Verwendung von verzinkten Mikropfählen wird nicht empfohlen. Bei aggressiven Böden ist ein verstärkter Korrosionsschutz erforderlich.

Angestrebte Lebensdauer in Jahren	5	25	50	75	100
Ungestörte natürliche Böden (z. B. Kies, Sand, Schluff, Ton)	0,00	0,30	0,60	0,90	1,20
Verschmutzte natürliche Böden und Industrie- baugründe	0,15	0,75	1,50	2,25	3,00
Aggressive natürliche Böden (z. B. Sumpf, Klei, Torf)	0,20	1,00	1,75	2,50	3,25
Unverdichtete und nichtaggressive Auffüllun- gen (z. B. Kies, Sand, Schluff, Ton)	0,18	0,70	1,20	1,70	2,20
Unverdichtete aggressive Auffüllungen (z. B. Asche, Schlacke)	0,50	2,00	3,25	4,50	5,75
ANMERKUNG 1 Die Korrosionsgeschwindigkeiten in verdichteten Auffüllungen ist geringer als diejenige in unverdichteten Auffüllungen. Für verdichtete Auffüllungen sind die Tabellenwerte zu halbieren.					
ANMERKUNG 2 Die Werte für 5 Jahre und 25 Jahre basieren auf Messungen, wogegen die anderen Werte extrapoliert sind.					

Abb. 14: Abrostungszuschlag gemäß Tabelle 15 ONR 24806:2011, Maßangaben in mm (ONR 24806:2011)

Verschraubungen am Mikropfahlkopf sind mit einer zusätzlichen Korrosionsschutzmaßnahme auszubilden. Diese muss dem Korrosionsschutz des Pfahles entsprechen. Ein Korrosionsschutz ausschließlich durch Zugabe eines Abrostungszuschlages ist nicht zulässig.

Werden Verbauungen im Permafrost errichtet, so ist bei der Fundierung gemäß „Lawinerverbau im Anbruchgebiet“ (Margreth, 2007) vorzugehen. Das mögliche Auftreten von Permafrost ist im Stadium der Planung abzuklären und muss dokumentiert werden.

3.2 Vermurungsschutz

Der Technische Hochwasserschutz ist mit einer Vielzahl von Möglichkeiten realisierbar. In dieser Arbeit werden lediglich Varianten mit zugbelasteter Verankerung berücksichtigt. Zu diesen Varianten zählen Hangmurbarrrieren sowie Murbarrrieren. Durch das Wirken verschiedenster Parameter wie Fließgeschwindigkeit, Geschiebetransport und Werktyp, können beachtliche Kräfte entstehen, welche in den Untergrund übertragen werden müssen. Die Wahl der Fundierung richtet sich in erster Linie nach dem eingesetzten Werktyp sowie den Untergrundverhältnissen. Die Möglichkeit von Bohr- und Injektionsverfahren sowie die Manipulation von Lasten auf der Baustelle bilden einen weiteren zu berücksichtigenden Faktor. In Abb. 15 sind die Typen der Netzsperrern abgebildet.

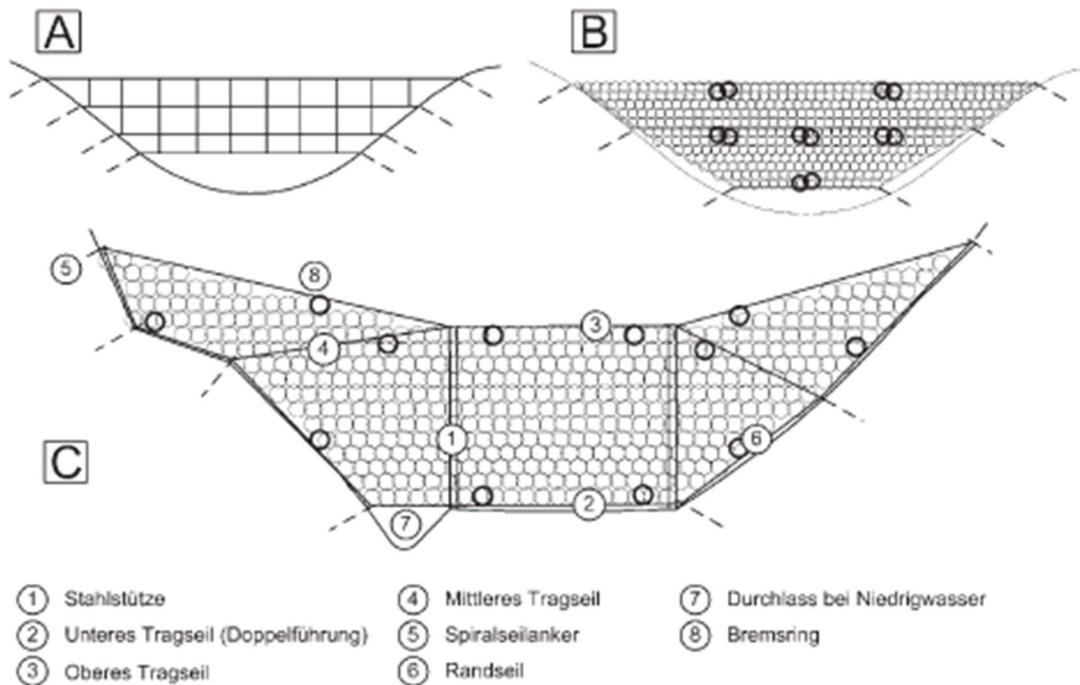


Abb. 15: Systemtypen von Netzsperrungen; (A) Seilsperrungen; (B) Netzsperrungen; (C) Netzsperrungen, Murgangbarrieren (Bergmeister, 2009)

3.2.1 Murbarrieren

Murbarrieren können mit sogenannten Netzsperrungen realisiert werden. Vorteile dieser Systeme sind ihr geringes Transportgewicht sowie ihr elastisches Verhalten. Netzsperrungen werden als Murbarriere oder Wildholzfilter eingesetzt. Ihre durchlässige Konstruktion entwässert die Mure, hält größeres Material zurück und feines Material wird durch das Wasser ausgeschwemmt. Die dadurch entstehenden Ablagerungen stoppen den Rest der Mure. Das bei Murbarrieren verwendete Ringnetz besitzt die Fähigkeit, punktuelle Einwirkungen zu absorbieren und überträgt die Last auf die Tragsseile.

Murbarrieren sollten bei Bächen in einem geraden Abschnitt mit einem geringen Gefälle errichtet werden. Dadurch verringert sich die Fließgeschwindigkeit und die Rückhaltekraft wird erhöht. Des Weiteren sollte der Standort leicht zugänglich sein, um eine Reinigung nach einem Ereignis zu erleichtern. Die Uferböschungen sollten für die Verankerung genügend Tragfähigkeit aufweisen. Ist dies nicht der Fall, müssen zusätzliche Stützmaßnahmen ergriffen werden. Beträgt die Sperrenbreite mehr als 15,00 m können zusätzliche Stützen in der Netzsperrung erforderlich sein.

Die Tragsseile der Netze werden mit Spiralseilankern, Selbstbohrankern oder Mikropfählen verankert. In nachfolgender Abb. 17 ist die Standardausführung für Verankerungen im Fels der Firma GEOBRUGG AG abgebildet.

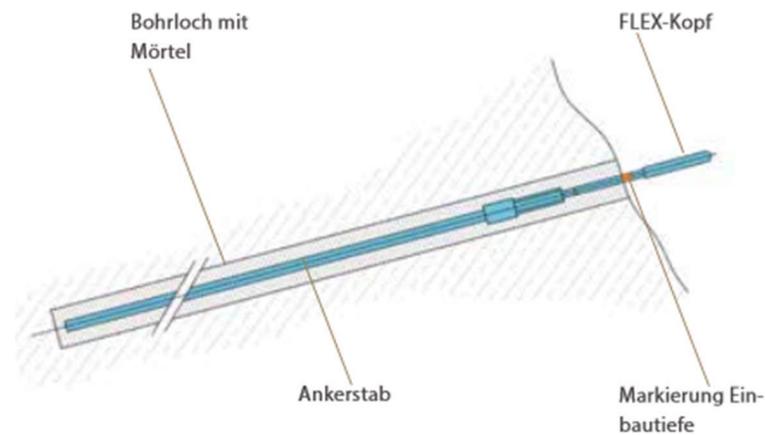


Abb. 16: Standardausführung der Verankerung (GEOBRUGG AG)

Hangmurbarrrieren werden wie gelenkig gelagerte Steinschlagschutznetze ausgebildet. Den Unterschied bildet ein Netz, welches engmaschiger ist. In Abb. 18 sind die Komponenten eines Hangmurbarrrierensystem der Firma Geobrugg AG abgebildet.

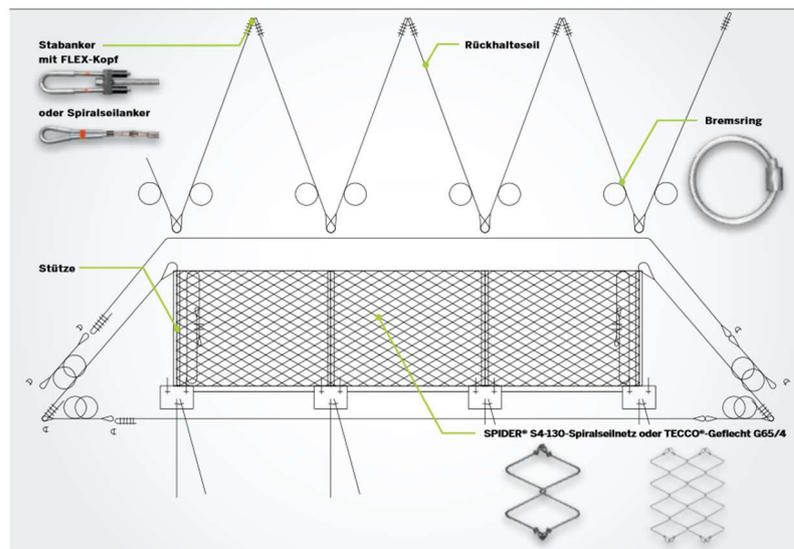


Abb. 17: Systemkomponenten GEOBRUGG SL150 (GEOBRUGG AG)

3.2.2 Bemessung der Fundierung von Murbarrrieren

In den Richtlinien zur Errichtung von Schutzbauwerken der Wildbachverbauung sind keine Angaben zur Bemessung der Fundierung von Netzsperrern und Murbarrrieren enthalten. Die Fundierungen dieser zwei Sperrertypen werden daher in der Praxis nach der ONR 24810:2017 bemessen. Das Vorgehen bei der Bemessung ist dem Kapitel 293.3.2 zu entnehmen.

3.3 Technischer Steinschlagschutz

Der Technische Steinschlagschutz kann durch eine Vielzahl an Möglichkeiten realisiert werden. In dieser Arbeit werden vor allem Varianten mit zugbelasteter Verankerung betrachtet. Im Allgemeinen wird unter dem Begriff Steinschlagschutz eine Gruppe von Schutzbauten verstanden, welche entwickelt wurden, um Stein- und Blockschlag zu stoppen oder dessen Auswirkungen zu verringern. Diese Verbauungen bestehen typischerweise aus Stahlstützen, welche als Grundgerüst für flexible Netze verwendet werden. Der Stützenfuß ist gelenkig oder starr ausgebildet. Die Stützen werden mit Drahtseilen abgespannt. Die Fundierung erfolgt im Regelfall durch Mikropfähle, kann aber auch durch Gewichte (z.B. Betonfundamente) hergestellt werden.

Traditionell wurden Steinschlagschutzverbauungen als Fangzäune ausgebildet. Sie wurden entwickelt, um den Stein- oder Blockschlag zu stoppen. Heutzutage werden auch sogenannte Attenuator, Hybrid-/Dämpfungssysteme, eingesetzt, welche den Stein- oder Blockschlag dämpfen und ablenken sollen. Bei diesem System wird auf das untere Spannseil verzichtet, wodurch die Blöcke und Steine zwischen Netz und Gelände weiter hangabwärts rutschen können, wo diese mit weniger Aufwand entfernt werden können. In Abb. 18 ist ein Attenuator System der Firma Trumer Schutzbauten abgebildet.

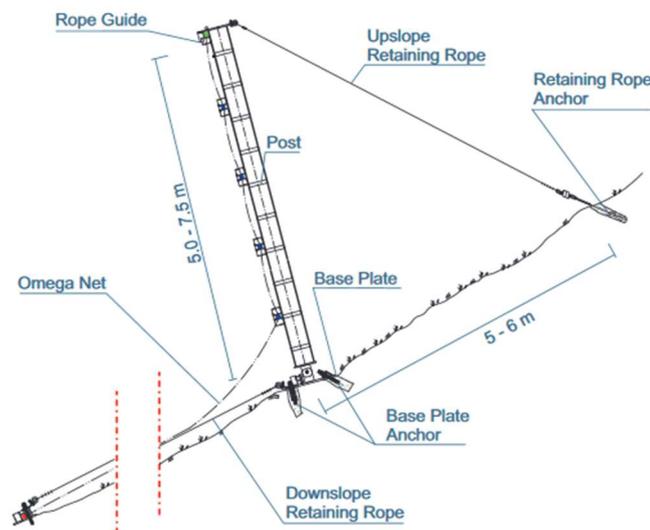


Abb. 18: Systemskizze Attenuator (Trumer Schutzbauten)

Steinschlagschutznetze werden in Energieklassen unterteilt, um sie leichter vergleichen zu können. Die heutigen Energieklassen reichen von 100 kJ bis zu 10.000 kJ. Wobei Systeme mit einer Energieklasse von 10.000 kJ nur selten zur Anwendung kommen. In den vergangenen 50 Jahren durchliefen diese Systeme eine Entwicklung von 100 bis 500 kJ Aufnahmekapazität bis zu den heutigen Systemen, welche nicht selten bis zu 5.000 kJ aufnehmen können. Vorteil dieser Systeme ist eine gute Anpassungsfähigkeit an die Topografie und ihre geringen Materialkosten sowie ihre Montagefreundlichkeit.

3.3.1 Steinschlagschutzzäune

Steinschlagschutzzäune und in weiterer Folge Steinschlagschutznetze werden im Bereich der Sturzbahn aufgestellt. Ihre Aufgabe ist nicht die Entstehung von Steinschlägen zu verhindern, sondern die angrenzende Infrastruktur bzw. Siedlungsräume vor einer Beschädigung durch Steinschlag zu schützen. In Europa dürfen lediglich Systeme verwendet werden, welche durch die European Technical Approval 27 Richtlinie, kurz ETAG 27, zugelassen sind.

3.3.1.1 Klassifizierung von Steinschlagschutznetzen

Steinschlagschutznetze können mit gelenkiger oder starrer Stütze ausgebildet werden. Bei starren Stützen entfallen die Abspannungen, wodurch ein Räumen des hangseitigen Vorfeldes erleichtert wird. Bei dieser Ausführungsvariante sind die auftretenden Kräfte durch die Fundierung aufzunehmen und in den Untergrund abzutragen. Bei abgespannten Systemen werden die einwirkenden Kräfte auf die Fundierungen der Stützen sowie die Abspannseile aufgeteilt, wodurch die Fundierungen am Stützenfuß geringere Lasten aufnehmen müssen. In Abb. 19 ist ein gelenkiges System mit hangseitigem und talseitigem Vorfeld, sowie dem Tragwerk und der Fundierung dargestellt

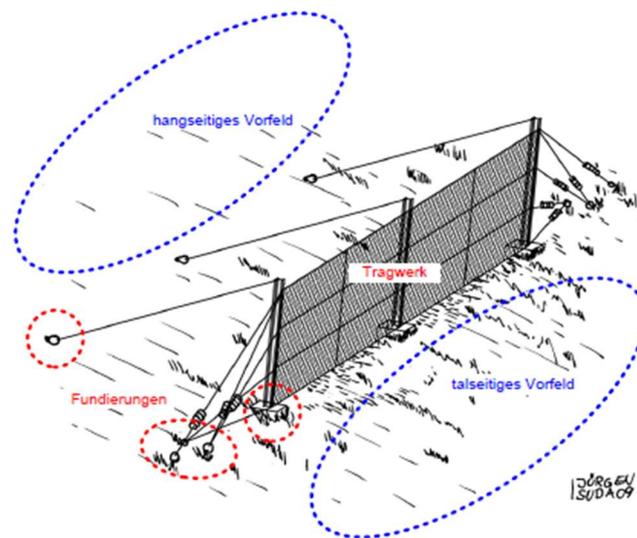


Abb. 19: Steinschlagschutznetz (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2013)

Des Weiteren können Steinschlagschutznetze durch ihre aufnehmbaren Last unterschieden werden. Diese Unterteilung wird auf Grund der Energieklasse vorgenommen. In den nachfolgenden Ausführungen wird im Regelfall hieraus Bezug genommen.

3.3.1.2 Steinschlagschutznetze mit starrer Verankerung

Wenn Systeme mit der gleichen Energieklasse verglichen werden, sind jene mit Ausführung einer starr angeschlossenen Stütze deutlich schwerer. Das Gewicht resultiert aus einem größeren Stützenquerschnitt, welcher notwendig ist, um die Steinschlagenergie in die Fundamente abzutragen. Des Weiteren werden größere Ankerlängen benötigt, um die Kräfte aus dem Fundament in den Felsen oder dem Untergrund abzutragen. In Abb. 20 sind starre Systeme der Firma Trummer Schutzbauten in ihrer Bauhöhe und aufnehmbaren Last dargestellt.

Höhe [m]	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00
Energie [kJ]									
100									
300									
500									
1.000									
2.000									
Trummer Schutzbauten GmbH									
Starres System gemäß WLV									
Starres System ETAG 27 zertifiziert									

Abb. 20: Vergleich starrer Systeme

3.3.1.3 Steinschlagschutznetze mit gelenkiger Verankerung

Zu den Vorteilen von Steinschlagschutznetzen mit gelenkiger Verankerung zählen ein deutlich geringeres Gewicht und, dass sie den örtlichen Gegebenheiten leichter angepasst werden können. Die Fundierung der berg- und talseitigen Abspannnetze erfolgt mittels Seilanker oder Mikropfahl. Nachteile dieses Systems sind das durch die Abspannungen deutlich schwerer zu räumende hangseitige Vorfeld sowie die größere Anzahl von Verankerungen. Einen weiteren zu berücksichtigenden Faktor bildet die Netzauslenkung, welche bei diesen Systemen deutlich größer ist als bei Systemen mit starrer Verankerung. In der nachfolgenden Abb. 21 sind gelenkige Systeme der Firma Trummer Schutzbauten und der Geobrigg AG in ihrer Bauhöhe und aufnehmbaren Last dargestellt.

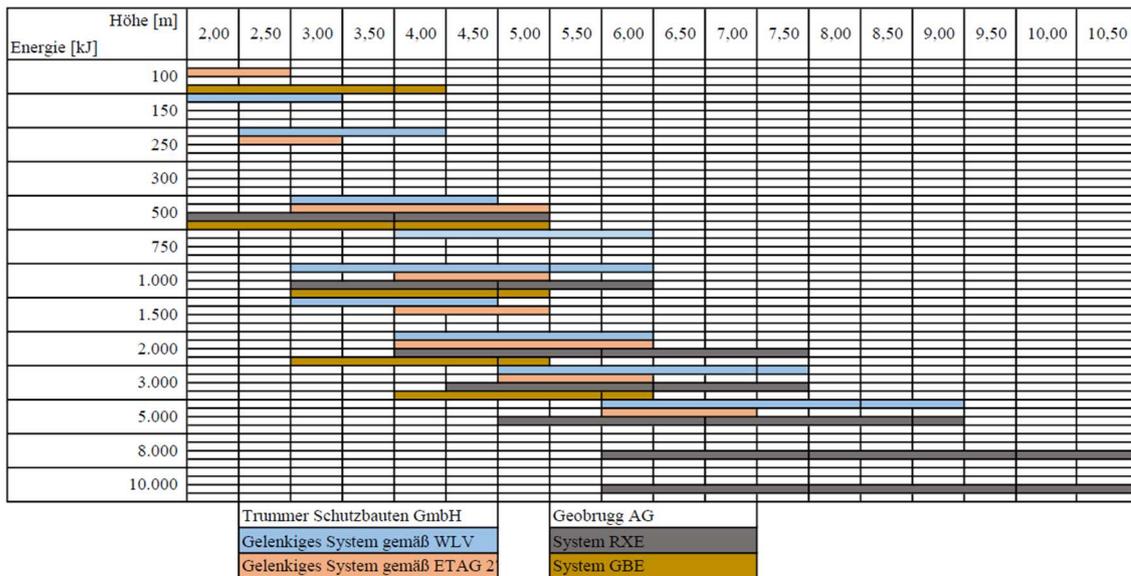


Abb. 21: Vergleich gelenkiger Systeme

3.3.1.4 Sondersysteme

Im Laufe der Zeit wurden für verschiedene Anforderungen Sondersysteme entwickelt. Zu diesen Systemen gehören das Attenuator System und das von Geobrugg entwickelte CANOPY System.

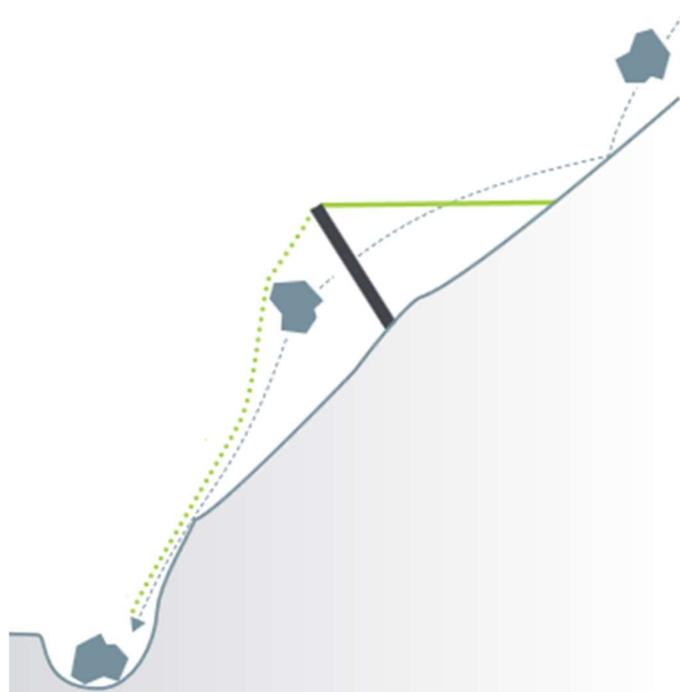


Abb. 22: Attenuator Systemswirkung (GEOBRUGG AG)

Das Attenuator System bietet eine Lösung, um Infrastruktur, welche einem hohen Steinschlagrisiko ausgesetzt ist und genügend Platz für einen Auffangbereich vorhanden ist, zu schützen. Das System hat eine unabhängige Fundierungsplatte und ist über einen Bolzen mit der Stütze verbunden. Durch die gelenkige

Verbindung kann die Stütze in ihrer Neigung variabel verstellt werden. Die Neigung wird durch berg- und talseitige Abspannungen eingestellt und kontrolliert. Das Steinschlagschutznetz wird nur am oberen Tragseil befestigt und reicht talseitig bis zu einem definierten Auffangraum. Das mittlere und untere Tragseil entfällt bei diesen Systemen. Durch den Entfall des unteren Tragseiles wird der Steinschlag durch das Netz aufgefangen und kontrolliert zwischen Netz und Gelände zu einem definierten Auffangraum geleitet. In Abb. 22 ist das Sondersystem Attenuator der Firma Geobrugg AG abgebildet.

Vorteil dieses Systems ist, dass der Steinschlag im oberen Teil des Systems abgelenkt wird und zwischen Steinschlagvorhang und Gelände in einen definierten Auffangbereich geleitet wird. Dadurch ist dieses System wartungsärmer und prädestiniert für Orte mit erhöhtem Steinschlagaufkommen. Das Räumen des Auffangbereiches gestaltet sich einfacher als bei herkömmlichen Steinschlagschutzsystemen.

Das CANOPY System von Geobrugg ist eine selbstreinigende Steinschlagbarriere. Es ist eine kostengünstige Alternative zu Betongalerien oder Tunneln. Das System besteht aus einer gelenkig gelagerten Stütze, welche berg- und talseitig abgespannt ist. Das Steinschlagschutznetz ist bergseitig abgespannt. Durch die bergseitige Abspannung wird erreicht, dass der Steinschlag in das Netz eintaucht und durch seine Energie wieder herausspringt. Dadurch beeinflusst der Steinschlag nicht den kritischen Lichtraum der Infrastruktur wie beispielsweise eines Straßen- oder Bahnquerschnittes. In Abb. 23 ist das Sondersystem CANOPY der Firma Geobrugg AG abgebildet.

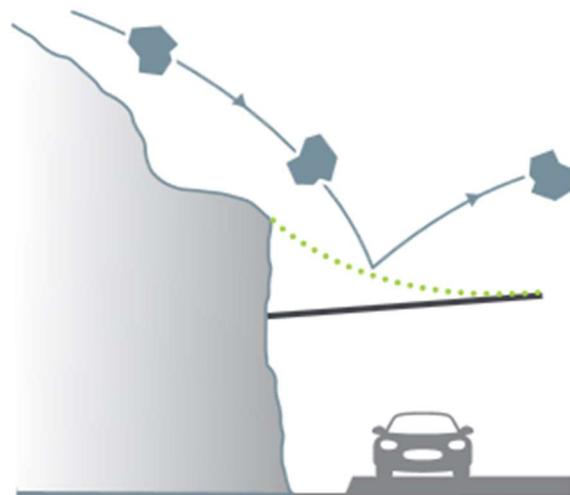


Abb. 23: Canopy Systemwirkung (GEOBRUGG AG)

Vorteile dieses Systems sind, der selbstreinigende Effekt sowie ein einfacher modularer Aufbau. Es bietet sich vor allem für Infrastrukturbauwerke mit begrenzten Platzverhältnissen, wie Bergstraßen oder hangnahen Schienentrassen, an.

3.3.2 Bemessung der Fundierung bei Steinschlagschutznetzen

Die Bemessung der Fundierungen von Steinschlagschutznetzen erfolgt in Österreich gemäß ONR 24810:2017. Die Werte für die einwirkenden charakteristischen Kräfte entsprechen den gemessenen und deklarierten Werten der Maximalkräfte aus einem Maximum Energy Level (MEL)-Versuch gemäß ETAG 27. Das MEL ist dabei definiert als die kinematische Energie, welche der Block bei dem Auftreffen auf die Netzfläche hat, mit $MEL \geq 3 * SEL$. Wobei Service Energy Level (SEL) die kinematische Energy ist, mit der ein Block auf die Netzfläche trifft. Werden mehrere Abspannungen zu einem Verankerungspunkt zusammengeführt, müssen die auftretenden Kräfte addiert werden. Der Grenzzustand der Tragfähigkeit für die Fundamente des Stützenfußes muss mit einem rechnerischen Nachweis gemäß „Bemessung von Verankerungen basierend auf Daten der Typenprüfung von Schutznetzen gegen Steinschlag“ (W. Gerber, 2005) erfolgen. Scherkräfte welche am Übergang Stützenfuß auf Fundierung auftreten sind seitens des Herstellers des Steinschlagschutznetzes anzugeben. In weiterer Folge, ist ein Nachweis über die Aufnahme dieser Scherkräfte durch die Fundierung zu führen. Ein Nachweis (GEO) für Anker und Zugpfähle ist nach ÖNORM B 1997-1-1:2013, wenn erforderlich, zu führen und das Nachweisverfahren 2 ist hierzu anzuwenden. Die konstruktiven Elemente müssen auf ihre innere Tragfähigkeit (STR) gemäß den facheinschlägigen Normen, beispielsweise der Norm für Stahlbau: ÖNORM EN 1993: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, ÖNORM EN 1993-1-1:2017, bemessen werden. Bei starren Systemen werden die Kräfte in Trag- und Mittelseilen für die Ermittlung eines Biegemomentes sowie einer hangparallelen Kraft herangezogen. Diese Kräfte sind für die Bemessung der Fundierung heranzuziehen.

„Im Zuge der Zulassungsversuche von Steinschlagschutznetzen gemäß ETAG 027 werden an allen typischen Abspannungen Kraftmessungen durchgeführt. Die hierbei gemessenen Maximalkräfte sind als charakteristische Einwirkung auf die Fundierung des jeweiligen Netztyps anzusehen. Da in der ETA-Zulassungsprüfung mit dem Netzmittelpunkt ein günstiger Trefferpunkt belastet wird, sind die auftretenden Kräfte durch einen Teilsicherheitsbeiwert abzusichern.“ (ONR 24810:2017)

Für Mikropfähle als Fundierung sind gemäß ONR 24810:2017 folgende Nachweise für den Grenzzustand der Tragfähigkeit gefordert:

- Nachweis gegen Herausziehen - „äußere Tragfähigkeit“;
- Nachweis gegenüber Versagen des Zuggliedes - „innere Tragfähigkeit“.

Die Bemessung der Fundierung kann anhand von Tabellenwerten gemäß ONR 24810:2017 erfolgen, eine detaillierte Dimensionierung der Mikropfähle kann nur anhand von Eignungsprüfungen erfolgen. Wird eine Dimensionierung anhand von

Tabellenwerten vorgenommen, ist ein Modellfaktor anzusetzen. Die Bemessung nach Tabellenwerten erfolgt nach ONR 24810:2017 sowie nach Pfahlversuchen. Im Lockergestein wird der oberste Meter, im Fels der oberste halbe Meter als nicht tragfähig angesetzt und ist daher bei der Ermittlung der erforderlichen Länge des Pfahles zu berücksichtigen. Bei Eignungsprüfungen ist dieser Bereich daher nicht zu verpressen.

Des Weiteren gelten für Mikropfähle folgende Anforderungen:

- Minimaler Bohrlochdurchmesser von 90 mm welcher durch eine Mindestüberdeckung von 20 mm vorgegeben wird;
- Geringere Bohrlochdurchmesser dürfen im Fels ohne Überdeckung verwendet werden, wenn die erforderliche Mindestüberdeckung beachtet wird;
- Mindestabstand der Haftstrecken von Mikropfählen beträgt 1,00 m, mit Ausnahme der Stützenfundierung;
- Im Sinne der ONR 24810:2017-02 sind Stähle mit maximaler Festigkeit von 670/800 N/mm² und Gleichmaßdehnung von 5 % zu verwenden;
- Verbrauchsbeschränkende Maßnahmen, wie thixotrope Mörtel, sind in Kombination mit den Einbaubedingungen und dem Ankermörtel zu dokumentieren und Eignungsprüfungen zu unterziehen;
- Tragglieder müssen im Bohrloch zentriert werden;
- Mikropfähle sind vom Bohrlochtiefsten beginnend auszuinjizieren und nicht flacher als 15° zur Waagrechten einzubauen;
- Die Mörtelüberdeckung muss mindestens 20 mm betragen;
- Um die Knicksicherheit von Mikropfahlköpfen zu gewährleisten, müssen diese bei Lockergestein 1,00 m und bei Fels 0,50 m mit einem Betonsockel, Aussteifungsrohr oder Ähnlichem ausgestattet werden,
- Bei Verwendung von Selbstbohrankern muss die Verpressung während des Bohrens erfolgen, damit die erforderliche Überdeckung sichergestellt ist;
- Wird die Fundierung im Zuge von Pfahlprobelastungen bemessen, sind die Eigenschaften zur Einleitung von Kräften durch die Mantelreibung in jedem Homogenbereich des Baufeldes durch Eignungsprüfungen zu erheben;
- Die Haftstrecke, welche statisch wirksam ist, sollte auf eine Länge von 10,00 m beschränkt sein.

Die Eignungsprüfung von Mikropfählen ist an Probepfählen durchzuführen. Das Ziel der Prüfung ist das Versagen des Mikropfahles, um den Grenzmantelwiderstand zu ermitteln. Die Länge der Pfähle sind so zu wählen, dass ein Versagen oder eine Überschreitung des zulässigen Kriechmaßes mit der vor Ort aufbringbaren Prüflasten möglich ist. Aus den Ergebnissen der Eignungsprüfung ergibt sich die mittlere Mantelreibung pro Laufmeter. Die charakteristische Mantelreibungskraft wird durch die minimale Mantelreibung je Laufmeter und einem Streufaktor gebildet.

Bei der Prüfung wird der Mikropfahl axial auf Zug belastet, Last, Verformung und Zeit werden aufgezeichnet. Aus den gewonnenen Daten ergibt sich der mittlere Auszieh Widerstand des Pfahles je Laufmeter. Die Ergebnisse aller Prüfungen werden durch einen Streuungsfaktor abgemindert und ergeben den charakteristischen Auszieh Widerstand. Im Lockergestein wird der oberste Meter und im Fels der oberste halbe Meter als nicht tragend eingestuft. Dadurch ist die Pfahllänge um diesen Wert zu erhöhen. Die Lastaufbringung und Entlastung hat weder stoßweise noch dynamisch zu erfolgen. Die Mindestaushärtezeit des Verpressgutes muss gemäß Herstellerangaben berücksichtigt werden. Zur Feststellung der abtragbaren Mantelreibung ist die Last in mehreren Laststufen zu jeweils fünf Minuten bis zum Versagen des Mikropfahles aufzubringen. Eine Vorbelastung von 10 % der Prüflast ist aufzubringen. Als Versagenskriterium ist bei zum Kriechen neigenden Böden ein zulässiges Kriechmaß von $\leq 5,00$ mm anzuwenden. Der oberste Meter im Lockergestein und der oberste halbe Meter im Fels werden als nicht tragend eingestuft und dürfen daher keinen kraftschlüssigen Verbund mit dem Mikropfahl aufweisen. Die Widerlager des Prüfblockes müssen mindestens den fünffachen Bohrlochdurchmesser Abstand zum Mikropfahl aufweisen. Bei Fels darf dieser Abstand reduziert werden, wenn das Trennflächengefüge es zulässt. Das Tragglied muss den maximal zu erwartenden Grenzmantelreibungswert aufnehmen können. Für Eignungsprüfung und Bauwerksfundierung sind die gleichen Mikropfahlsysteme einzusetzen. Ein Mindestabstand der wirksamen Haftstrecken zueinander von mindestens 1,00 m ist einzuhalten. Eine Ausnahme bildet die Stützenfundierung.

Die Abnahmeprüfung erfolgt an mindestens einem Mikropfahl je 25 Stück, jedoch an mindesten zwei Stück pro Verbaureihe. Die zu prüfenden Mikropfähle sind durch den Auftraggeber festzulegen. Es wird empfohlen, Mikropfähle zu prüfen, deren Versagen zu einem globalen Versagen der Verbaureihe führen würde. Ein Beispiel dafür wäre die Trageilabspannung. Die Prüfkraft wird mit der 1,25-fachen charakteristischen Einwirkung festgelegt. Die Anordnung des Prüfbockes entspricht jenem der Eignungsprüfung. Die Prüflast wird in mindestens einer Laststufe aufgebracht und muss mindestens fünf Minuten gehalten werden. Ein Kraftabfall bis zur 1,10-fachen charakteristischen Einwirkung ist zulässig. Wenn dieser Wert unterschritten wird, ist zu prüfen, ob das Widerlager der Prüfeinrichtung eingesunken ist.

Mikropfähle sind nicht abgenommen, wenn:

- Das Kriechmaß von $\leq 5,00$ mm überschritten wird bzw. ein Aufbringen der Prüfkraft nicht möglich ist,
- Die Prüfkraft nicht fünf Minuten gehalten werden kann.

Für jeden nicht abnehmbaren Prüfpfahl erhöht sich die Anzahl der zu prüfenden Pfähle um zwei Stück. Die Anzahl kann sich bis zu der Gesamtanzahl der Pfähle erhöhen.

Der Korrosionsschutz bei Steinschlagschutzverbauungen kann gemäß ONR 24810:2017 durch die Verwendung von rostfreiem Stahl oder durch einen Abrostungszuschlag realisiert werden. In Abb. 24 sind Werte für den Abrostungszuschlag bezogen auf den Radius ersichtlich. Bei aggressiven Böden ist ein verstärkter Korrosionsschutz erforderlich. Bauteile, welche kraftschlüssig mit dem Mikropfahl verbunden sind, müssen dem Mikropfahl in ihrer Lebensdauer angepasst werden. „Ein Korrosionsschutz für Mikropfähle ist vorzusehen, wenn dies aufgrund der geforderten Nutzungsdauer erforderlich ist. Der Korrosionsschutz hat gemäß Mikropfahl-Zulassung zu erfolgen und wird durch Verpressgutüberdeckung und/oder einen Abrostungszuschlag bzw. doppelten Korrosionsschutz erreicht.“ (ONR 24810:2017)

Ein Korrosionsschutz muss bei bodennahen Bauteilen der Stützkonstruktion bis etwa 40,00 cm über Grund ausgebildet werden. Fundamentteile sind korrosionsgeschützt auszuführen. Der Korrosionsschutz darf durch die Verwendung von rostfreiem Stahl oder durch einen Abrostungszuschlag gemäß ONR 24810:2017 Abschnitt 6.2.4.2 erfolgen. Bei aggressiven Böden ist ein verstärkter Korrosionsschutz erforderlich. Bauteile, welche mit dem Mikropfahl verbunden sind, müssen der Lebensdauer des Pfahles angepasst werden. Im Sinne der ONR 24810:2017 sind Mikropfähle Verbundwerkstoffe, welche zur Krafteinleitung einen intakten Verpressgutmantel mit einer Mindestüberdeckung von 20,00 mm benötigen. Verwendete Stähle müssen eine Gleichmaßdehnung von 5 % und eine maximale Festigkeit von 670/800 N/mm² aufweisen. Für Mikropfähle ist ein Korrosionsschutz erforderlich, wenn es die geplante Nutzungsdauer verlangt. Der Korrosionsschutz kann durch Verpressgutüberdeckung, Abrostungszuschlag oder doppelten Korrosionsschutz erfolgen. In Abb. 24 werden Angaben zur Korrosionsgeschwindigkeit sowie Werte für den Dickenverlust dargestellt.

Angestrebte Lebensdauer in Jahren	5	25	50	75	100
Ungestörte natürliche Böden (Kies, Sand, Schluff, Ton u. dgl.)	0,00	0,30	0,60	0,90	1,20
Verschmutzte natürliche Böden und Industriebaugründe	0,15	0,75	1,50	2,25	3,00
Aggressive natürliche Böden (Sumpf, Klei, Torf, Gipsvorkommen u. dgl.)	0,20	1,00	1,75	2,50	3,25
Unverdichtete und nichtaggressive Auffüllungen (Kies, Sand, Schluff, Ton u. dgl.)	0,18	0,70	1,20	1,70	2,20
Unverdichtete aggressive Böden (Asche, Schlacke u. dgl.)	0,50	2,00	3,25	4,50	5,75
ANMERKUNG 1 Die angegebenen Werte sind Richtwerte. Die örtlichen Gegebenheiten sollten berücksichtigt und geeignete Werte unter Berücksichtigung derselben in den nationalen Anhängen angegeben werden.					
ANMERKUNG 2 Die Korrosionsgeschwindigkeit in verdichteten Auffüllungen ist geringer als diejenige in unverdichteten Auffüllungen. Für verdichtete Auffüllungen sind die Tabellenwerte zu halbieren.					
ANMERKUNG 3 Die Werte für 5 Jahre und 25 Jahre basieren auf Messungen, wogegen die anderen Werte extrapoliert sind.					
ANMERKUNG 4 Für natürlichen Fels sind die Werte für ungestörte natürliche Böden heranzuziehen. Bei Auftreten von korrosionsrelevanten Mineralbestandteilen (z. B. Sulfate) sind die Werte für aggressive natürliche Böden zu verwenden.					

Abb. 24: Abrostungszuschlag in mm gemäß ONR 24810:2017 (ONR 24810:2017)

3.4 Vergleich der Korrosionsschutzmaßnahmen für Mikropfähle

Die Korrosionsschutzmaßnahmen sind bei den in den Kapitel 3 beschriebenen Schutzverbauungen weitestgehend ident. Die normativen Grundlagen führen den Korrosionsschutz bodennaher Bauteile und Fundamentteilen mit rostfreiem Stahl oder Abrostungszuschlägen aus. Bauteile, welche kraftschlüssig mit dem Pfahl verbunden sind, müssen auf die Lebensdauer des Mikropfahles angepasst werden. Unterschiede beim Korrosionsschutz sind:

- Eine Verzinkung von Mikropfählen ist nach ONR 24806:2011 nicht empfohlen;
- Bei Verschraubungen im Kopfbereich ist ein Korrosionsschutz durch die Abrostungsrate nicht zulässig wodurch ein zusätzlicher Korrosionsschutz erforderlich ist;
- Ein Korrosionsschutz ist nur aufgrund der geforderten Nutzungsdauer erforderlich;
- Der Korrosionsschutz hat entsprechend der Zulassung zu erfolgen und kann durch Verpressgutüberdeckung und/oder Abrostungszuschlag bzw. doppelten Korrosionsschutz erfolgen.

4 Korrosion bei Mikropfählen

Korrosion bei Mikropfählen tritt vor allem an nicht ausreichend korrosionsgeschützten Bereichen des Traggliedes, an Verbindungsstellen (z.B. Muffenstoß) sowie dem Pfahlkopfbereich auf. Die relevanten Korrosionsvorgänge sind elektrochemische Reaktionen (vgl. Kapitel 4.1) bei welchen sich sogenannte Anoden und Kathoden ausbilden. Es treten meist zwei Arten von Korrosionsvorgängen auf:

- Örtlich begrenzte Korrosion auch unter Einwirkung von Chloriden;
- Korrosion durch Depassivierung des Stahlzuggliedes.

Nachfolgend wird kurz auf die Arten der Korrosion eingegangen und im Anschluss hieran werden unterschiedliche Arten des Korrosionsschutzes näher erläutert. Die Korrosion in Böden und wichtige korrosionsbeeinflussende Parameter sind zudem in Nürnberger (1995) und Cornelius Dold (2021) vertiefter ausgeführt.

4.1 Korrosion im Allgemeinen

Korrosion ist die Reaktion eines Metalls mit seinem Umgebungsmedium. Das Umgebungsmedium enthält das eigentliche Angriffsmittel. Die Reaktion des Metalls mit dem Umgebungsmedium führt zu einer Umwandlung des Werkstoffes in ein Korrosionsprodukt. Das entstehende Korrosionsprodukt kann löslich, haftend oder locker sein. Korrosion wird nach ÖNORM EN ISO 12944.1 wie folgend definiert: „*physikochemische Wechselwirkung zwischen einem Metall und seiner Umgebung, die zu einer Veränderung der Eigenschaften des Metalls führt und häufig zu erheblichen Beeinträchtigungen der Funktion des Metalles, der Umgebung oder des technischen Systems, von dem diese einen Teil bilden, führen kann*“.

Korrosion kann nach Weißbach *et al* (2015) zu folgenden Auswirkungen führen:

- Querschnittsschwächung und daraus resultierende größere Spannungen und zunächst elastische, später plastische Dehnungen. Der Werkstoffabtrag betrifft vor allem die Randschichten des Werkstoffes. Dies vermindert den Querschnitt sowie daraus folgend die Flächenmomente des Bauteiles;
- Verletzung der Oberfläche und dadurch resultierende Kerbwirkung mit Abfall der Dauerfestigkeit bei dynamisch beanspruchten Bauteilen;
- Vergrößerung des Volumens und dadurch resultierendes Blockieren von beweglichen Bauteilen, Sprengen enger Spalten, „Festrost“ von Verbindungen und Aufwölben von Punktschweißnähten oder Lackschichten.

Gemäß der obenstehenden Definition liegen Korrosionsschäden erst dann vor, wenn die Funktionalität des Bauteiles beeinträchtigt ist. Korrosion entsteht durch chemisch-physikalische Reaktionen und kann in drei Gruppen eingeteilt werden:

- Chemische Korrosion;
- Metallphysikalische Korrosion;
- Elektrochemische Korrosion,

wobei die elektrochemische Korrosion die am häufigsten auftretende Korrosionsart ist.

4.2 Chemische Korrosion

Die chemische Korrosion ist selten und findet zwischen Flüssigkeiten oder oxidierenden Gasen und Metallen statt. Es bildet sich eine dem Metall ähnliche Deckschicht aus. Die Metalloberfläche wirkt als Anode und die Grenzfläche zwischen Deckschicht und Gas- oder Flüssigkeitsphase als Kathode. Es findet kein Elektronenfluss wie bei der elektrochemischen Korrosion (vgl. Kapitel 4.4) statt. Die häufigsten Korrosionsmittel sind Säuren, Laugen, trockene Gase und Sauerstoff. Die Korrosionsprodukte lagern sich schichtweise auf dem Grundmetall ab, sind diffusionsoffen und können dadurch weiterwachsen. In Abb. 25 ist ein Beispiel für eine Hochtemperaturkorrosion abgebildet.

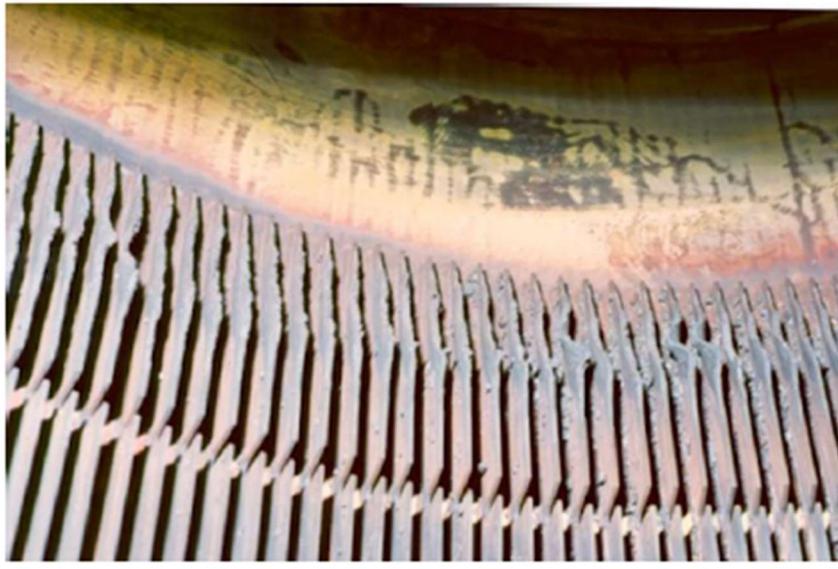


Abb. 25: Hochtemperaturkorrosion (Wöls, 2020)

4.3 Metallphysikalische Korrosion

Die metallphysikalische Korrosion findet mit ausschließlich physikalischen Phänomenen statt. Die Korrosionsmittel bei dieser Form der Korrosion sind metallische Schmelzen oder Gase wie Wasserstoff. Bei metallischen Schmelzen versteht man das Eindiffundieren von Metallen in Korngrenzen, wenn sie in Kontakt mit leicht diffundierbaren Metallen oder flüssigem Quecksilber kommen. Die wasserstoffinduzierte Rissbildung und die Absorption von Wasserstoff gehören ebenso zur metallphysikalischen Korrosion. Abb. 26 enthält eine schematische Darstellung für metallphysikalisches Korrodieren.

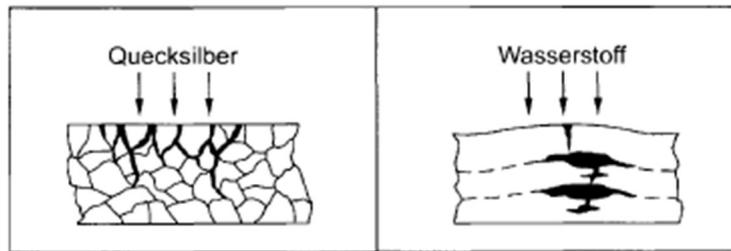


Abb. 26: Metallphysikalische Korrosion durch Metalle und Wasserstoff (Tostmann, 2005)

Die wasserstoffinduzierte Rissbildung kann durch verschiedene Medien verursacht werden. Dabei reagieren Metalle mit Medien, welche Wasserstoff in Form von gasförmigen Molekülen, Protonen oder Atomen enthalten, und den Werkstoff auf unterschiedliche Weisen schädigen. Die Korrosionsschäden können im Inneren wie auch im Äußeren des Werkstoffes auftreten. In nachfolgender Abb. 27 sind Ursachen, Mechanismen und Schäden durch wasserstoffinduzierte Korrosion abgebildet.

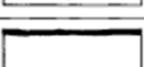
Reaktionen bei wasserstoffinduzierter Korrosion				
Wasserstoffquelle	Aus Gasphasen als H_2 (p_{H_2})		Elektrolytische Reaktion: $2 H^+ + 2e^- = 2 H_{ad}$	
Bedingungen für Absorption	Drücke >700 bar Kerben kritische Dehnung		$R_m > 1200 \text{ N/mm}^2$ Kerben kritische Dehnung Promotoren H_2S , S, CO, usw.	
Mechanismus	Belastung	Vorgang	Schaden	
Physikalisch	Ohne äußere Spannung	Werkstofftrennungen >200°C	Blasen	
		Beizblasen		
	H-Rißkorrosion (HIC)	innere Längsrisse		
	Mit äußerer Spannung	H-Spannungsrißkorrosion (HSCC)	Risse senkrecht zur Spannung	
Chemisch	Ohne äußere Spannung	äußere Hydridbildung	Abtrag	
		innere Hydridbildung	Risse	
		Druckwasserstoffkorrosion >200°C (Reaktion mit Carbiden)	Risse	

Abb. 27: Wasserstoffinduzierte Korrosion (Tostmann, 2005)

4.4 Elektrochemische Korrosion

Bei der elektrochemischen Korrosion sind elektrische Ströme beteiligt, welche bei Kontakt von Metallen mit Elektrolyten entstehen. In den meisten Fällen ist dieser Elektrolyt ionisiertes Wasser. Zu den Elektrolyten zählen:

- Salzlösungen, Laugen, Säuren;
- Salzschnmelzen;
- Ionisierte Luft, beispielsweise durch elektrische Felder bei Blitzen;

- Gase mit hohen Temperaturen und hohem Unterdruck;
- Oxidkeramik bei Brennstoffzellen;
- Spezielle Polymere.

In Kombination mit Metallen ergeben diese galvanische Elemente. Bei galvanischen Elementen wird durch Oxidation eines unedlen Metalls elektrische Energie gewonnen. Das unedle Metall geht dabei in Form von Ionen in Lösung. Die Korrosionsgeschwindigkeit wird dabei durch die elektrischen Parameter Potenzial, Stromdichte und Widerstand bestimmt. In Abb. 28 ist die Galvanische Spannungsreihe abgebildet.

Metall	Normalpotential/V	Charakter
Gold, Au	1,42	Edel ↑
Silber, Ag	0,80	
Kupfer, Cu	0,34	
Wasserstoff, H	0	
Blei, Pb	-0,13	↓ Unedel
Zinn, Sn	-0,14	
Eisen, Fe (2 ⁺)	-0,44	
Chrom, Cr (3 ⁺)	-0,74	
Zink, Zn	-0,76	
Aluminium, Al	-1,66	
Magnesium, Mg	-2,38	

Abb. 28: Galvanische Spannungsreihe (Tostmann, 2005)

Die galvanische Spannungsreihe stellt den Potenzialunterschied zwischen verschiedenen Metallen dar. Die Metalle sind dabei nach ihrem Ladungsunterschied gegenüber Wasserstoff geordnet.

„Wegen der Häufigkeit von Kontakten vieler Bauteile mit Wasser (Regenwasser, Brauchwasser usw.) ist das die wichtigste Reaktionsart.“ (Weißbach et al., 2015)

Weitere Ausführungen zu dieser Korrosionsform sind in Tostmann (2005), Nürnberger (1995) und Dold, (2021) zu finden.

4.5 Korrosionserscheinungsformen

Korrosion kann in einer großen Bandbreite an Erscheinungsformen an Bauteilen oder Bauwerken auftreten. Unter Erscheinungsform wird die Veränderung des Korrosionssystems verstanden, dabei entstehen verschiedene Korrosionsprodukte, wie beispielsweise Rost, welche sowohl in fester, flüssiger, aber auch gasförmiger Form auftreten können.

4.5.1 Gleichmäßige Flächenkorrosion

Bei der gleichmäßigen Flächenkorrosion wird ein etwa ebener, gleichmäßiger Abtrag bei größeren Flächen der Metalloberfläche beobachtet. Eine gleichmäßige Flächenkorrosion ist selten zu beobachten, da einzelne Flächenbereiche meist unterschiedliche Abtragungsgeschwindigkeiten in Folge von verschiedenen Deckschichten und Inhomogenität des Werkstoffes aufweisen. Durch die unterschiedlichen Korrosionsgeschwindigkeiten bilden sich meist mulden- oder narbenförmige Abtragungen aus. Der Begriff gleichmäßige Flächenkorrosion wird meist zur Abgrenzung von örtlich begrenzten Korrosionsformen verwendet. Aus technischer Sicht ist diese Art der Korrosion unproblematisch, da die Korrosionsrate gering ist und relativ genau ermittelt werden kann.

Die atmosphärische Korrosion ist ein Sonderfall der gleichmäßigen Flächenkorrosion. Da alle Bauteile dieser Korrosionsart ausgesetzt sind, ist sie die häufigste. *„Man schätzt, dass die Kosten für Schutzmaßnahmen allein für diesen Bereich etwa die Hälfte der Gesamtkosten für den präventiven Korrosionsschutz betragen.“* (Tostmann, 2005) Die atmosphärische Korrosion ist eine Wechselwirkung zwischen metallischen Werkstoffen und der klimatischen Beanspruchung. Die klimatischen Beanspruchungen setzen sich dabei aus Niederschlagsmenge, Temperatur, Wind sowie Staub und Schmutzanteile in der Luft zusammen. Kondensatbildung zufolge der Taupunktunterschreitung kann zu einer verstärkten Korrosion führen. Weitere Informationen zur gleichmäßigen Flächenkorrosion sind in Tostmann (2005) zu finden.

4.5.2 Örtliche Korrosion

Konzentrationsunterschiede des korrosiven Mediums erzeugen eine Potenzialdifferenz auf der Werkstoffoberfläche, wodurch charakteristische Korrosionsformen entstehen. Beispiele für diese Korrosionsform sind Mulden-, Lochfraß- und Spaltkorrosion.

4.5.2.1 Muldenkorrosion

Muldenfraß kann als örtlich begrenzter Abtrag auf einer sonst nicht oder kaum angegriffenen Oberfläche definiert werden. Nach Definition (vgl. 4.5.2.2) ist die Tiefe der Mulde geringer als ihr Durchmesser. Muldenfraßkorrosion unterscheidet sich von der Lochkorrosion in der Tiefe der auftretenden Löcher. Muldenkorrosion tritt meist bei porösen Oberflächenbelägen auf. *„Die Bereiche mit überwiegend anodischen Strömen führen zu stärker lokalisiertem Abtrag bis zum Muldenfraß. Der örtlich begrenzte Korrosionsabtrag beruht darauf, daß der anodische Strom der Metallauflösung örtlich begrenzt und sehr hoch ist und der kathodische Strom sich über eine größere Fläche verteilt. Dieser Zustand kann sich dadurch einstellen, daß sich ein sogenanntes Belüftungselement ausbildet, wobei eine begrenzte anodische Fläche einer wesentlich größeren kathodischen Fläche mit*

guten Sauerstoffzutritt gegenüber steht.“ (Tostmann, 2005) In Abb. 29 Abb. 28 ist der schematische Ablauf einer Muldenkorrosion abgebildet.

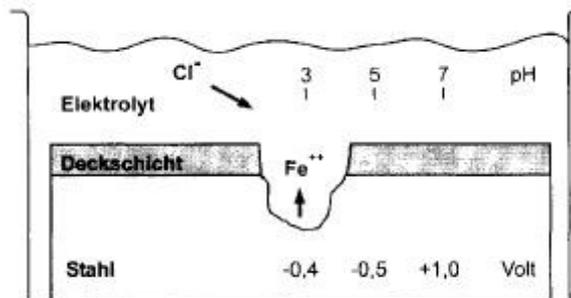


Abb. 29: Schematische Darstellung der Muldenkorrosion (Tostmann, 2005)

4.5.2.2 Lochkorrosion

Die Lochkorrosion bildet meist kraterförmige Aushöhlungen sowie nadelstichartige Vertiefungen aus. Im Endzustand der Lochkorrosion steht die Durchlöcherung des Werkstoffes. Bei der Lochkorrosion sind Stör- oder Fehlstellen in der Passivschicht Voraussetzung. Diese Stellen können durch die Herstellung oder durch mechanische Bearbeitung entstehen. Adsorption oder der Einbau von Ionen in die Passivschicht aktiviert diese und ermöglicht so eine Auflösung des Metalls. Bei Aluminium und Stahl führen Chloride aufgrund ihrer hohen Adsorptionswirkung zu einem Durchbruch der Passivschicht und ermöglichen so Lochkorrosion. Lochfraß findet man vor allem in ruhenden Lösungen, da in strömenden Lösungen sich nur schwer stationäre Zustände einstellen können. Abb. 30 zeigt ein schematisches Beispiel für die Lochfraßkorrosion.



Abb. 30: Darstellung der Lochfraßkorrosion (Briehl, 2008)

4.5.2.3 Spaltkorrosion

Spaltkorrosion ist ein Korrosionsprozess, welcher in Spalten von einem oder mehreren metallischen Werkstücken stattfindet. Die Korrosion wird durch behinderte Diffusionsvorgänge induziert, wobei ein sogenanntes Belüftungselement oder Konzentrationselement entsteht. Die belüftete Seite des Spaltes bildet die Kathode, dort wird das Elektrolyt schwach alkalisch und der Sauerstoff reduziert sich. Durch die Sauerstoffreduktion findet an der Kathode Sauerstoffkorrosion statt. Im Inneren des Spalts ist die Sauerstoffzufuhr erschwert, wodurch sich die Anode ausbildet. An der Anode erfolgt die Oxidation des metallischen Werkstoffes. In Abb. 31 ist ein Beispiel für die Spaltkorrosion dargestellt.

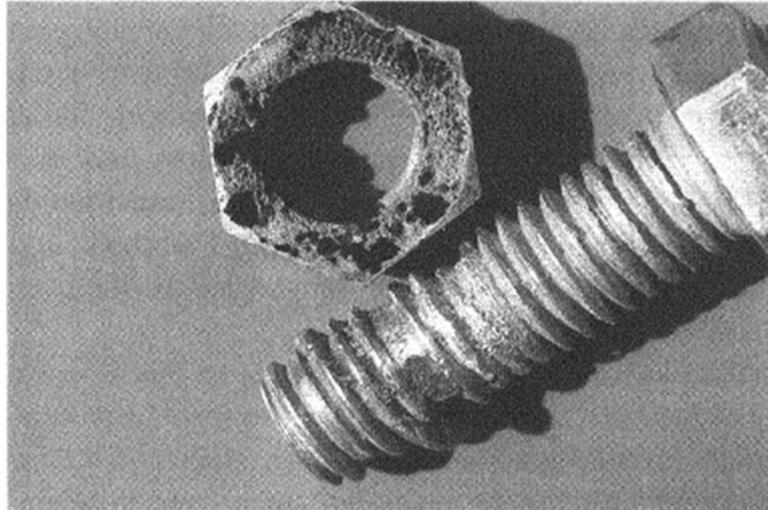


Abb. 31: Darstellung der Spaltkorrosion (Tostmann, 2005)

Weitere Informationen zur Spaltkorrosion sind in Tostmann (2005) zu finden.

4.6 Korrosion bei mechanischer Beanspruchung

Die Definition von Korrosionsarten (vgl. Kapitel 4.1) unterscheidet zwischen Korrosion ohne und mit mechanischer Beanspruchung. Die in Kapitel 4.5 behandelten Korrosionserscheinungsformen können ohne und mit mechanischer Beanspruchung auftreten. In Abb. 32 ist ein Überblick der mechanischen und stofflichen Beanspruchung sowie der daraus resultierenden Schäden abgebildet. Die mechanische Beanspruchung ist nicht als zusätzliche Beanspruchung zu sehen, sondern die Korrosion entsteht durch das Zusammenwirken von Werkstoff, Medien und der mechanischen Beanspruchung. Dadurch wird die Beanspruchung zu einem Parameter des Korrosionssystems. Das bedeutet, dass Korrosionsschäden nur auftreten, wenn die kritische mechanische Beanspruchung überschritten wird. Für die in diesem Kapitel angeführte Form der Korrosion reicht die alleinige korrosive Beanspruchung nicht aus, um Korrosionsschäden zu bewirken.

Mechanische und chemische Einflüsse auf die Korrosion				
Mechanische Beanspruchung		Schaden	Chemische Beanspruchung	Korrosionsschaden
kontinuierlich	statische und dynamische Zugspannungen	Gleitung Risse Bruch	spezifischer Elektrolyt Wasserstoff flüssige Metalle	Spannungsrissskorrosion
schwingend	wechselnd schwellend	Ermüdungsbruch	unspezifischer Elektrolyt	Schwingungsrissskorrosion
reibend	oszillierend	Verschleiß	Luft oxidierte Schmierstoffe	Reibkorrosion Reibdauerbruch
schlagend	periodisch	Erosion Tropfenschlag Kavitation	aggressiver Elektrolyt jeder Elektrolyt	Erosionskorrosion Kavitationskorrosion

Abb. 32: Überblick der mechanischen und stofflichen Einflüsse auf die Korrosion (Tostmann, 2005)

Die Spannungsrissskorrosion entsteht durch mechanische Zugspannungen auf einen Werkstoff. Diese Zugspannungen führen zu einer Dehnung des Werkstoffes. Die Zugspannungen können dabei äußere Lasten, innere Zugspannungen oder Eigenspannungen sein. Durch die Zugspannungen entstehen trans- oder interkristalline Risse. Bei der Schwingungsrissskorrosion wirken mechanische Wechselbeanspruchungen an einem Bauteil, wodurch bei diesen meist transkristalline, verformungsarme Risse entstehen. Die Schwingungsrissskorrosion benötigt im Unterschied zur Spannungsrissskorrosion keine spezielle Empfindlichkeit des Werkstoffes noch ist ein spezifisches Medium Voraussetzung für die Korrosionsschädigung. Wirkt zwischen Werkstoff und Medium eine Relativbewegung, so können Schäden durch eine strömungsinduzierte Erosions- und Kavitationskorrosion auftreten. Werden Werkstoffe zyklisch gegeneinander bewegt, sind Reibkorrosionsschäden möglich.

Nachfolgend wird nochmal detaillierter auf die Themenstellung der Spannungsrissskorrosion eingegangen, da diese im Zusammenhang mit Ankern und geankerten Konstruktionen (vgl. Burtscher *et al.*, 2017) oftmals angeführt wird. Spannungsrissskorrosion bezeichnet eine Rissbildung in zugbeanspruchten Werkstoffen bei gleichzeitigem Einwirken von spezifischen Medien. Diese Medien sind bei Metallen meist wässrige Elektrolyte. Voraussetzung für die Spannungsrissskorrosion ist ein kritisches System aus Werkstoff, Medium sowie eine gleichzeitige Beanspruchung. Die Spannungsrissskorrosion tritt bei Metallen als Trennung mit inter- oder transkristallinen Rissverlauf und nur im passiven Zustand auf. Es ist kein Materialabtrag erkennbar, wodurch die Spannungsrissskorrosion ein besonderes Sicherheitsrisiko darstellt. Die Korrosion setzt meist erst nach längerer Zeit spontan ein. Ein wesentlicher Faktor bei dieser Form der Korrosion ist die Größe und Art der mechanischen Beanspruchung. In Abb. 33 ist die Spannungsrissskorrosion bei Stählen überblicksmäßig dargestellt.

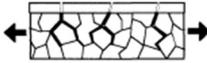
Spannungsrißkorrosion der Stähle			
Schaden	Interkristalline SpRK		Transkristalline SpRK
			
Werkstoff	Unlegierte Stähle Niedriglegierte Stähle	CrMn- CrNi-Stähle Ni-Basislegierungen	Austenitische Stähle Ni-Basislegierungen
Belastung	überwiegend dynamisch		statisch
Mechanismus	spannungsinduzierter Korngrenzenangriff		lochfraßinduzierte SpRK
Medium	alkalisch NO_3^- , OH^- , CO_3^{2-}	neutral unspezifisch	sauer - neutral Cl^- , Br^-
Temperatur	warm - heiß	Hochtemperaturwasser	hoch bei niederer Konzentration niedrig bei hoher Konzentration
Gefüge	sensibilisiert		ohne Einfluß

Abb. 33: Spannungsrißkorrosion bei Stählen (Tostmann, 2005)

Weitere Informationen zur Korrosion bei mechanischer Beanspruchung sind in Tostmann (2005) zu finden.

4.7 Korrosionsschutz

Korrosionsschutz umfasst alle Maßnahmen, welche im Allgemeinen dabei behilflich sind, Korrosion zu vermeiden beziehungsweise das Eintreten eines Korrosionsschadens hinauszögern oder dessen Auswirkungen zu mindern. Durch die Vielzahl an korrosionsfördernden Randbedingungen und Korrosionsmedien (vgl. Kapitel 4.1 bis 4.6) welche miteinander in Kontakt treten können, bedarf es einer großen Bandbreite an Korrosionsschutzmaßnahmen. Hierbei dürfen jedoch nicht nur Korrosionsmedien allein betrachtet werden, sondern es muss das Ganze als Korrosionssystem bewertet werden. Durch diese Bewertung können die verschiedenen Parameter, ihre Einflussgrößen sowie ihre Wechselwirkung veranschaulicht werden. Generell können Korrosionsschutzmaßnahmen in den aktiven und den passiven Korrosionsschutz gegliedert werden.

In dieser Arbeit wird nur ein Überblick über die verschiedenen Ansätze des Korrosionsschutzes gegeben. Detailliertere Informationen zu den verschiedenen Korrosionsschutzsystemen den einschlägigen Normen werden (vgl. Kapitel 3), Nürnberger (1995), Tostmann (2005) und Dold (2021) zu finden.

4.7.1 Passiver Korrosionsschutz

Die Idee, welche dem passiven Korrosionsschutz zugrunde liegt ist, dass eine räumliche Trennung des Werkstückes und des Korrosionsmediums durch einen schützenden Überzug bewerkstelligt wird. Dabei kann der passive Korrosionsschutz durch eine Vielzahl an unterschiedlichen Methoden wie Überzüge und Trennschichten realisiert werden. Überzüge und Schutzschichten müssen dabei korrosionsbeständiger als das eigentliche Werkstück sein, um dem Korrosionsmedium entgegen zu wirken. Es finden organische, metallische, nicht metallisch und anorganische Schutzschichten Verwendung, wobei die Haftfestigkeit der Schutzschicht auf der metallischen Oberfläche eine wichtige Voraussetzung für den Korrosionsschutz ist.

4.7.1.1 Metallische Schutzschichten

Es gibt eine Vielzahl an Metallisierungsverfahren, welche verwendet werden, um unedle und edle metallische Oberflächenschutzschichten aufzubringen. Es sind besonders die galvanischen Beschichtungstechniken hervorzuheben, bei welchen die Beschichtung mittels Metallabscheidung auf elektrolytischem Weg erfolgt. Die genaue Zusammensetzung sowie der Ablauf der galvanischen Beschichtung sind Briehl (2008) zu entnehmen.

Eine andere Form der Beschichtungstechnik ist die stromlose oder chemische Beschichtung. Bei dieser Form der Beschichtung werden gleichmäßige Schichtdicken erzielt. Die Werkstücke werden in eine wässrige Metalllösung eingetaucht, welche die abzuscheidenden Metallionen enthält. Es liegt hier im

Gegensatz zur galvanischen Beschichtungstechnik überall die gleiche Spannung an.

Neben dem stromlosen elektrolytischen und galvanischen Beschichten sind die Metallspritzverfahren und die Schmelztauchmethoden erwähnenswert. Beim Metallspritzverfahren wird die Korrosionsschutzschicht durch Pulver oder Draht einer Spritzpistole zugeführt, in der dieser geschmolzen, unter hohem Druck zerstäubt und auf dem Werkstoff aufgetragen wird. Beim Schmelztauchverfahren wird das Werkstück in die Schmelze des Überzugmaterials eingetaucht. Die nach der Entnahme erstarrende Schutzschicht ist in der Regel dicker als jene bei galvanischen Verfahren. Dieses Verfahren wird aus Kostengründen nur bei Metallen eingesetzt, welche einen niedrigen Schmelzpunkt haben. Feuerverzinken ist das gebräuchlichste Verfahren und wird meist für Stahlwerkstoffe eingesetzt, welche im Außenbereich zur Anwendung kommen.

Ein oft verwendetes Verfahren, um eine metallische Schutzschicht bei Mikropfählen herzustellen, ist die Feuerverzinkung. Sie kann durch Verfahren wie Stückverzinkung oder Durchlaufverfahren hergestellt werden. Feuerverzinken eignet sich besonders gut, da Zink im Laufe der Korrosionsvorgänge feste Deckschichten aus Korrosionsprodukten ausbildet. Diese behindern den weiteren Korrosionsverlauf erheblich. Detailliertere Informationen über das Korrosionsverhalten von Zinküberzügen finden sich in Maaß und Peißker (2008).

4.7.1.2 Nicht metallische Schutzschichten

Bei nichtmetallischen Schutzschichten lassen sich die organischen und anorganischen Beschichtungsmaterialien unterscheiden. Die natürlichen Oxidschichten zählen bei den anorganischen Schutzschichten zu den wichtigsten, da diese eine hervorragende Passivierung des Werkstoffes bewirken. In diesem passivierten Zustand weisen die unedlen Metalle wie Aluminium und Nickel eine chemische Resistenz auf, welche mit der von Edelmetallen vergleichbar ist. „Die Passivierung wird hervorgerufen durch die Bildung einer äußerst dünnen, fest haftenden und zusammenhängenden Oxidschicht (teilweise auch Nitridschicht) auf der Metalloberfläche, die den darunter liegenden Werkstoff vor weiterer Korrosion schützt. Diese Oxidschicht ist in vielen Fällen transparent, so dass der metallische Glanz erhalten bleibt.“ (Briehl, 2008) Aufgrund der Vielzahl an Möglichkeiten der Herstellung von nichtmetallischen Schutzschichten wird nachfolgend lediglich ein kurzer Überblick dieser gegeben. Weitere Verfahren sowie ihre chemische Zusammensetzung und der Herstellungsablauf sind Briehl (2008) zu entnehmen.

Um die Korrosionsbeständigkeit und die Verschleißfestigkeit zu erhöhen können insbesondere bei Leichtmetallen natürlich gebildete Oxidationsschichten durch anodische Oxidationsprozesse verstärkt werden. Zu den bedeutendsten Verfahren zählt das Eloxal-Verfahren, bei dem auf einem Aluminium Werkstück eine

zusätzliche Schutzschicht auf der vorhandenen Oxidschicht gebildet wird. Die genaue Zusammensetzung sowie der Ablauf sind Briehl (2008) zu entnehmen. Bei Stahlwerkstoffen kann die Korrosionsbeständigkeit durch sogenanntes Brünieren oder auch Schwarzoxidieren wesentlich verbessert werden. Bei diesem Verfahren wird eine dünne, festhaftende und dunkelbraune bis schwarze Oxidschicht auf dem Werkstoff gebildet. Die genaue Zusammensetzung sowie der Ablauf sind Briehl (2008) zu entnehmen. Nichtmetallische Schutzschichten werden bei Mikropfähle nicht verwendet. Sie wurden hier erwähnt, um auch diese Möglichkeit des Korrosionsschutzes aufzuzeigen.

4.7.2 Aktiver Korrosionsschutz

Der aktive Korrosionsschutz ist die Anwendung von Verfahren und Methoden auf die elektrochemische oder chemische Korrosionsreaktion um gezielt in das Korrosionssystem einzugreifen und seinen Zustand zu verändern. Zu den Anwendungen zählen beispielsweise das Zulegen passivierender Metalle um die Korrosionsbeständigkeit zu erhöhen. Des Weiteren zählen konstruktive Ausbildungen und eine entsprechende Werkstoffwahl zur Vermeidung von Korrosion zu den aktiven Korrosionsschutzmaßnahmen.

4.7.2.1 Kathodischer Korrosionsschutz

Beim Kathodischen Korrosionsschutz (KKS) wird durch den Aufbau eines künstlichen Lokalelementes der zu schützende Bauteil als Kathode geschaltet. Die Anode besteht aus einer sogenannten unangreifbaren Elektrode oder einem unedlen Metall. Für den Korrosionsschutz von Stahl- und Eisenwerkstoffen werden oft Anoden aus Magnesium oder Zink verwendet und mit dem Werkstoff kurzgeschlossen. Die im Untergrund vorhandene Bodenfeuchtigkeit ist im Regelfall ausreichend, um das erforderliche Elektrolyt zu bilden. Da Magnesium und Zink im Vergleich zu Eisen unedler sind, werden diese bevorzugt oxidiert. Man spricht daher von sogenannten „Opferanoden“. Das vorhandene Eisen- oder Stahlwerkstück ist dadurch vor Korrosion geschützt. Eine systematische Darstellung des Systems ist in der nachfolgenden Abb. 34 dargestellt.

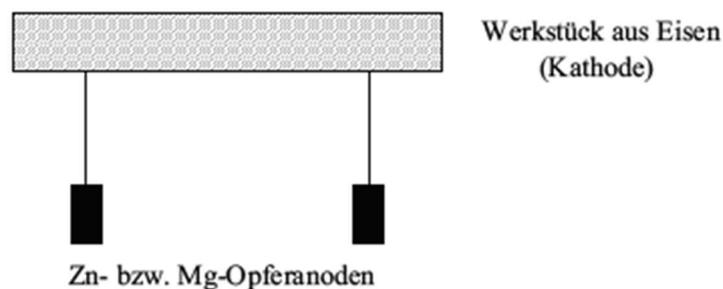


Abb. 34: Opferanodenschaltung (Briehl, 2008)

Eine andere Variante des kathodischen Korrosionsschutzes ist die Verwendung von Fremdstrom. Hierbei wird der gleiche Effekt wie bei der Opferanode durch

den Einsatz von Fremdstrom erzielt. Das Werkstück wird dabei an den Minuspol einer Gleichspannungsquelle angeschlossen. Der positive Pol besteht aus einer unangreifbaren oder unauflöslchen Elektrode. „Diese elektrische Schaltung bewirkt, dass das Werkstück über den Minuspol der Spannungsquelle Elektronen aufnimmt, wodurch sich der Primärschritt jeder metallischen Korrosion, nämlich die Abgabe von Elektronen durch Oxidation des betreffenden Metalls, unterdrücken lässt. Damit wird das Werkstück zur Kathode und die inerte Elektrode zur Anode.“ (Briehl, 2008) Eine derartige elektrische Schaltung ist in Abb. 35 dargestellt.

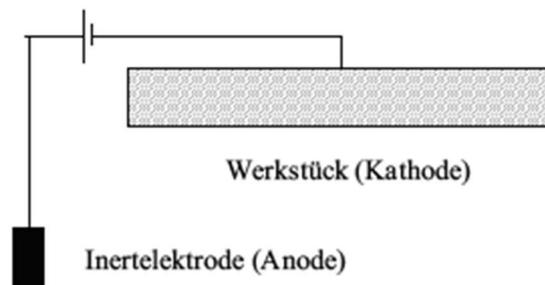


Abb. 35: Fremdstromschaltung (Briehl, 2008)

Die beiden angeführten Systeme des Kathodischen Korrosionsschutzes kommen vorrangig bei Parkdecks, Brücken und auch im Leitungsbau zum Einsatz. Für Zulelemente ist diese Art des Korrosionsschutzes eher unzureichend bzw. nur sehr aufwändig umsetzbar.

4.7.2.2 Inhibitoren

Durch die Verwendung von Inhibitoren kann die Korrosion von Metallen gehemmt bzw. vollständig unterbunden werden. Diese Inhibitoren werden dem korrosiven Medium zugegeben, verändern dieses chemisch oder physikalisch und nehmen so direkt Einfluss auf den elektrochemischen Korrosionsvorgang. Physikalische Inhibitoren werden vom Werkstoff absorbiert und sind oberflächenaktive Substanzen. Sie bewirken eine räumliche Trennung von korrosionsverursachenden Medium und Metall. Zu ihnen gehören beispielsweise Aminosäuren. Chemische Inhibitoren lassen sich anhand der ablaufenden Reaktion in Passivatoren, Destimulatoren und Deckschichtbildner unterteilen. Passivatoren bilden eine zusammenhängende, dünne und passivierende Oxidschicht auf der Metalloberfläche. Deckschichtbildner bilden im Idealfall auf der Werkstoffoberfläche eine gleichmäßig deckende Schutzschicht durch Ausfällen in eine schwerlösliche Verbindung. Destimulatoren machen die im korrosiven Medium vorhandenen Substanz unschädlich. Inhibitoren und ihre chemische Wirkungsweise sind in Briehl (2008) detaillierter beschrieben.

Inhibitoren stellen eine Möglichkeit des Korrosionsschutzes dar, sie werden bei Mikropfähle allerdings nicht verwendet. Sie wurden hier erwähnt, um auch diese Möglichkeit des Korrosionsschutzes aufzuzeigen.

4.8 Kosten von Korrosionsschäden

„Jährlich fließen bis zu vier Prozent des Bruttoinlandprodukts von Industriestaaten in die Eindämmung beziehungsweise Behebung von Korrosionsschäden — Ausgaben, die mit einem effektiven Korrosionsschutz von Beginn an minimiert werden können.“ (Holzer, 2018)

Im Jahr 2008 wurden die Kosten durch Korrosionsschäden in Österreich auf rund 10 Mrd. Euro und in Deutschland auf etwa 50 Mrd. Euro jährlich geschätzt. Das ASCE (ASCE, 2009) hat die Kosten in Amerika für die Erneuerung, Instandhaltung und Ausbau der Infrastruktur im Jahr 2009 auf 2,2 Billionen US-Dollar geschätzt. Davon entfallen rund 930 Mrd. US-Dollar allein auf die Erneuerung und Instandhaltung von Brücken und Straßen.

Alleine in Deutschland wird geschätzt, dass man rund 15 Mrd. Euro einsparen könnte, wenn man den Korrosionsschutz konsequenter umsetzen würde. Das Ziel dabei ist, dass man den *„Korrosionsschutz nicht so gut wie möglich, sondern so gut wie nötig durchzusetzen“* (Maaß and Peißker, 2008)

5 Korrosionsnachbildung bei Mikropfählen

Die vorherigen Kapitel zeigten, dass Mikropfähle bei Schutzbauten und auch anderen Konstruktionen eine maßgebende Rolle in Bezug auf die Tragfähigkeit, Standsicherheit und Zuverlässigkeit derartiger Bauwerke haben. Zudem wurde in Kapitel 4 aufgezeigt, dass Korrosionsschäden in unterschiedlichster Art und Ausprägung vorliegen können und diese einen großen Einfluss auf das Tragverhalten und die Funktionstauglichkeit von metallischen Bauteilen haben können. Ein Teil dieser Arbeit war die Umsetzung und Durchführung von Versuchen zu Korrosion bei Mikropfählen. Ziel der Korrosionsnachbildung ist es, den Einfluss von Rissen im Verpresskörper von Mikropfählen auf das Korrosionsverhalten der Stahlzugglieder nachzubilden. Die Versuche werden in den nachfolgenden Kapiteln näher beschrieben und ausgeführt. Eine Interpretation der Versuchsergebnisse findet sich in Kapitel 6.

5.1 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau im Allgemeinen sollte es ermöglichen, Mikropfähle zu spannen und unter Aufrechterhaltung der Last eine Korrosionsschädigung zu simulieren. Dazu wurde ein Ankerprüfrahmen (vgl. Mikulik, 2019) verwendet, welcher als Spannrahmen zur Aufbringung der Last diente. Die hierzu erforderliche Spannresse wurde am Kopfende (Achse 7 in Abb. 36) des Ankerprüfrahmens positioniert und in ihrer Position gehalten. Der zu prüfende Mikropfahl (nähere Ausführungen siehe Kapitel 5.2) wurde mit Muffen und Ankerstangen verlängert, sodass er im Fußbereich des Rahmens (Achse 1 in Abb. 36) und nach der Spannresse mittels Unterlagscheiben und Muttern fixiert werden konnte. Vor dem Verlängern des Mikropfahles wurde eine Korrosionswanne, bestehend aus PVC-Formstücken (Achse 2-6 in Abb. 36) übergeschoben.

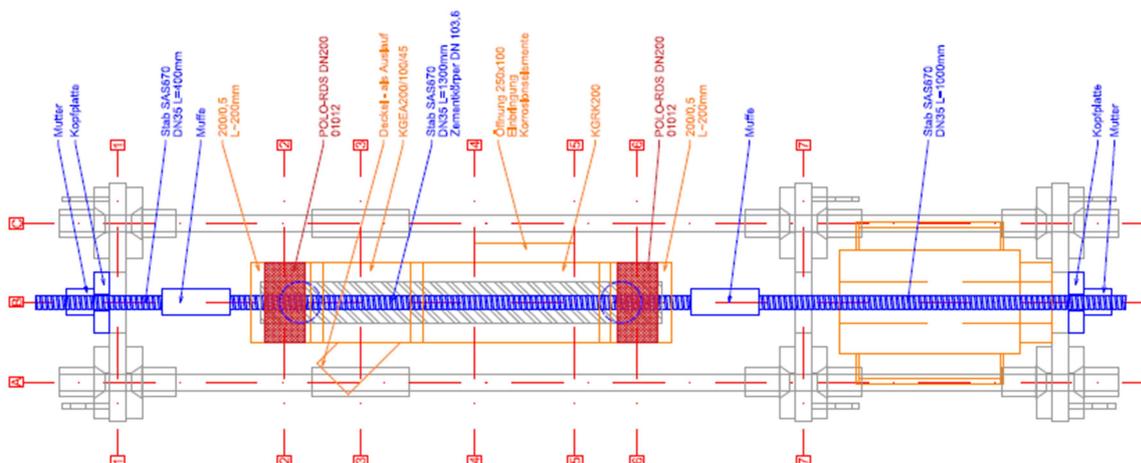


Abb. 36: Darstellung des Versuchsaufbaus im Längsschnitt

Nachdem der Mikropfahl im Ankerrahmen fixiert und vorgespannt worden ist, wurden RDS-Abdichtungen an den Achsen 2 und 6 eingesetzt und die Korrosionswanne in der gewünschten Position fixiert. Nachdem die RDS-Abdichtungen angezogen wurden und somit die Korrosionswanne den Prüfkörper dicht abschloss, konnte das Elektrolyt in Form von Salzwasser eingefüllt werden. Anschließend wurden die Opferanoden in Form von zwei Kupferstäben in die Korrosionswanne gestellt und mit einer Blitzschutzklemme verbunden. Abschließend wurde ein Batterieladegerät auf dem Ankerprüfrahmen angebracht und der Pluspol mit der Opferanode (Kupferstangen), der Minuspol mit der Bewehrung (in Form des Stabes), verbunden.

Der hier dargestellte Versuchsaufbau ähnelt anderen Aufbauten, welche bereits zur künstlichen Nachbildung von Korrosionsschäden an Bewehrungselementen oder anderen metallischen Bauteilen verwendet wurden. Vertiefere Ausführungen zu diesen sind in Rebhan (2019), Rebhan *et al.* (2019) und Wöls, (2018) zu finden.

Die Bauteilliste des Versuchsaufbaues befindet sich zusammen mit einer planmäßigen Darstellung im Anhang 1.

5.2 Versuchskörper

Zur Durchführung der in Kapitel 5.1 beschriebenen Versuche wurde eine Reihe an Versuchskörpern hergestellt. Diese bestanden jeweils aus einem Stab mit einem Durchmesser von 35 mm, welcher von einem Verpresskörper mit einem Durchmesser von 100 mm ummantelt war. Um unterschiedliche Korrosionsschutzsysteme in diesem Versuchsaufbau untersuchen zu können, wurden blanke Stäbe, verzinkte Stäbe und Stäbe mit doppeltem Korrosionsschutz für die Herstellung der Versuchskörper verwendet.

Für alle Versuchskörper wurden die folgenden Baustoffe verwendet:

- Schalung PVC-Rohr DN100,
- Bewehrung ANP SAS 670 DM35 (siehe Anhang 2),
- flächige Abstandhalter aus Plastik,
- Ankermörtel RÖFIX Creteo Inject CC795 (siehe Anhang 3).

Die Herstellung der Versuche wurde stehend vorgenommen, um ein einfacheres Einfüllen des Verpressgutes (Ankermörtel) zu ermöglichen und eine einfache Lagerung der Versuchskörper (vgl. Abb. 37) sicherzustellen. Nach dem Aushärten der Versuchskörper wurden die Schalung (PVC-Rohr) entfernt, überstehende Zementreste wurden entfernt und die Versuchskörper wurden in den Versuchsrahmen eingebaut. Bei einigen Versuchskörpern wurde zudem eine künstliche Schädigung – der Zementsteinüberdeckung bzw. der Korrosionsschutzmechanismen am Stab (Verzinkung) – hergestellt, um deren Einfluss auf die künstliche Korrosionsschädigung zeigen zu können.

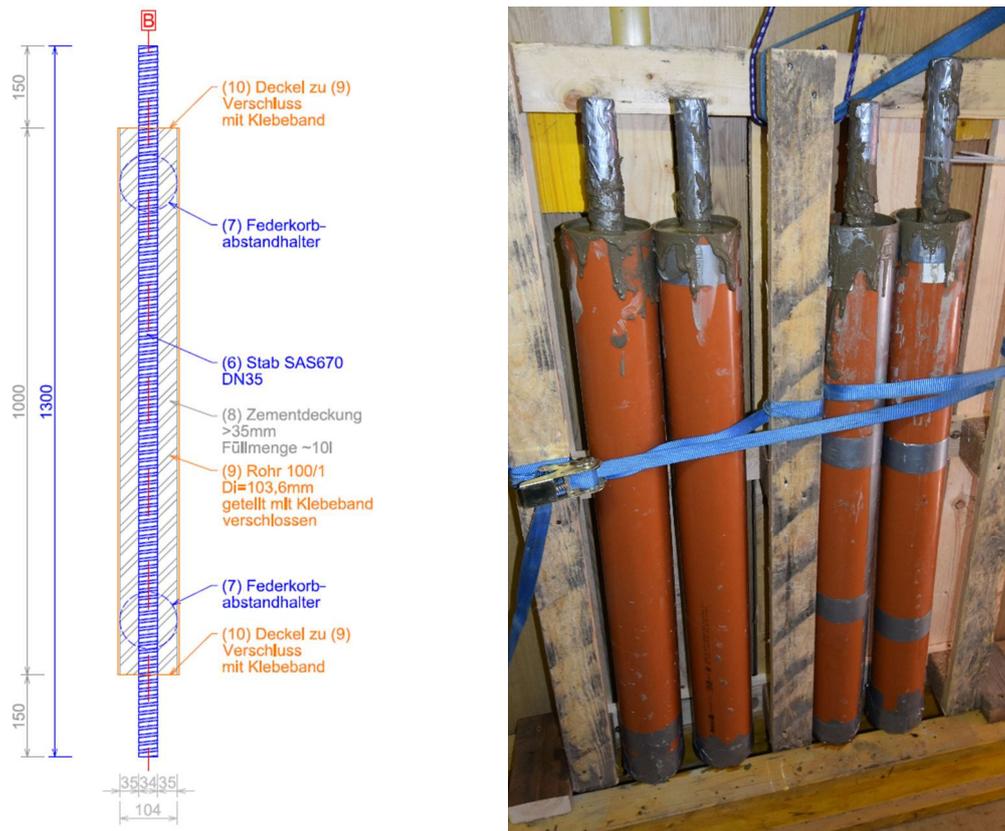


Abb. 37: Herstellung der Versuchskörper; Links: Skizze; Rechts: Betonage der Versuchskörper

Eine genaue Darstellung und Aufbereitung der verwendeten Versuchskörper ist in nachfolgendem Kapitel angeführt.

5.3 Versuchsdurchführung

Zur Versuchsdurchführung kamen drei Chargen zum Einsatz. Charge 1 (DAT_VK_01 bis DAT_VK_03) und Charge 2 (DAT_VK_04 bis DAT_VK_07) wurden im Labor hergestellt. Die Charge 3 (DAT_VK_08 und DAT_VK_09) wurde durch die ANP-Systems GmbH unter Verwendung eines Verpressgutes (und nicht dem unter Kapitel 5.2 angeführten Ankermörtel) hergestellt. Nachfolgend werden die Randbedingungen der einzelnen Chargen und der dazugehörigen Versuchskörper angeführt.

5.3.1 Charge 1

Die Versuchskörper der Charge 1 wurden an einem Tag und mit der gleichen Masse Ankermörtel (eine Mischung) hergestellt. Sie konnten mindestens 14 Tage im Stehen aushärten und wurden dabei nicht weiter nachbehandelt. Nach dem Aushärten wurden sie aus den Schalrohren geschnitten. Vor dem Einbau der Versuchskörper wurden die Zementsteinummantelungen der Versuchskörper entsprechend behandelt. Hierbei wurden bestimmte Schädigungen innerhalb des Verpresskörpers künstlich hergestellt.

- DAT_VK_01 wurde nicht weiter behandelt und verblieb als Vollstab ohne künstliche Schwächungen der Zementsteinummantelung;
- DAT_VK_02 (siehe Abb. 38 links) wurde mit zwei parallelen horizontalen Schnitten geschädigt. Die Distanz der Schnitte zueinander betrug etwa 10 cm, die verbleibende Betondeckung in den Schnitten betrug circa 5 mm. Die Schnitte wurden mittig im Stab platziert, um einen ausreichenden Abstand zu den Abstandhaltern sicherzustellen;
- DAT_VK_03 (siehe Abb. 38 rechts) wurde mit einem keilartigen Einschnitt geschädigt. Der Einschnitt hatte an der Oberfläche eine Stärke von etwa 15 mm und im Körper von etwa 5 mm. Er wurde etwa in Stabmitte platziert, um einem Abstand zu den Abstandhaltern sicherzustellen.



Abb. 38: Künstliche Schädigungen an der Zementsteinüberdeckung; Links: DAT_VK_02 – zwei parallele Schnitte; Rechts: DAT_VK_03 – keilartiger Einschnitt

5.3.2 Charge 2

Die Versuchskörper DAT_VK_04 bis DAT_VK_07 der zweiten Charge wurden ebenfalls an einem Tag und aus einer Masse hergestellt und konnten mindestens 5 Tage aushärten. An diesen Versuchskörpern wurde keine Schädigung der Zementsteinummantelung hergestellt, sondern es wurden neben blanken Stäben auch verzinkte Stäbe verwendet.

- DAT_VK_04 wurde nicht weiter behandelt und verblieb als verzinkter Vollstab ohne künstliche Schwächungen, ähnlich zu Versuchskörper DAT_VK_01;
- DAT_VK_05 wurde außen nicht weiter behandelt. Es erfolgte aber ein Abschleifen der Verzinkung des Bewehrungsstabes im Bereich zwischen den Rippen auf einer Seite;
- DAT_VK_06 wurde nicht weiter behandelt und verblieb als Vollstab ohne künstliche Schwächungen. Der Versuchskörper wurde durch Umsetzen der Korrosionswanne in zwei Abschnitten korrodiert. Dabei wurde die Korrosionswanne zuerst am unteren Ende des Versuchskörpers angebracht und nach 12 h um die Hälfte nach oben verschoben. Der zweite Abschnitt befand sich ebenfalls 12 h in der Korrosionswanne;
- DAT_VK_07 wurde zentrisch ohne Abstandhalter hergestellt.

5.3.3 Charge 3

Die Versuchskörper DAT_VK_08 und DAT_VK_09 wurden durch die ANP – Systems GMBH hergestellt und geliefert.

- DAT_VK_08 wurde mit Ripprohr hergestellt und wurde ohne Schädigung als Vollstab eingebaut. Dieser VK verblieb ca. 8 h in der Korrosionswanne;
- DAT_VK_09 wurde ohne Ripprohr hergestellt und ohne Schädigung als Vollstab eingebaut.

5.3.4 Zusammenfassung der Versuchskörper

Nachfolgend werden die in den Kapiteln 5.3.1 bis 5.3.3 angeführten Chargen bzw. Versuchskörper in dieser Übersicht dargestellt.

Tab. 2: Übersichtstabelle der Versuchskörper

Bez.	Vollstab Blank	Vollstab Verzinkt	Schädigung Zementstein- ummantelun	Schädigung Verzinkung	Ripprohr	Anmerkung
DAT_VK_01	X					-
DAT_VK_02	X		X			2 Schnitte
DAT_VK_03	X		X			Keil
DAT_VK_04		X				-
DAT_VK_05		X		X		Abschleifen
DAT_VK_06	X					Wanne
DAT_VK_07	X					Abstandhalter
DAT_VK_08	X				X	-
DAT_VK_09	X					-

5.4 Versuchsergebnisse

Bei der Versuchsauswertung wurden die gleichen Schritte für alle Versuchskörper wiederholt und werden hier anhand der Versuchskörper DAT_VK_01 und DAT_VK_03 kurz erläutert. Bei der Versuchsauswertung wurde darauf geachtet, ob die Risse im Betonkörper beim oder während des Spannens entstanden sind oder erst während dem Entspannen bzw. den Ausbau der Versuchskörper. In Abb. 39 werden zwei Risse des Versuchskörpers DAT_VK_01 dargestellt.



Abb. 39: Links: Riss entstanden während dem Entspannen; Rechts: Risse welche während dem Spannen entstanden sind und daher auch Korrosionsablagerungen aufwiesen

Alle Risse wurden mit einem Rissbreitenlineal vermessen und dokumentiert. Dabei wurden den Querrissen Buchstaben und den Längsrissen Buchstaben mit Nummern vergeben. Ab Versuchskörper DAT_VK_04 wurde auf eine Bestimmung der Rissbreite verzichtet. Nach der Aufnahme der Risse wurden Stellen mit einem besonders hohen Grad an Rost bzw. Korrosionsprodukten an der Oberfläche oder wie bei den Versuchskörpern DAT_VK_02 und DAT_VK_03 freigelegt. Abb. 40 zeigt die Stellen der Versuchskörper, welche freigelegt wurden.

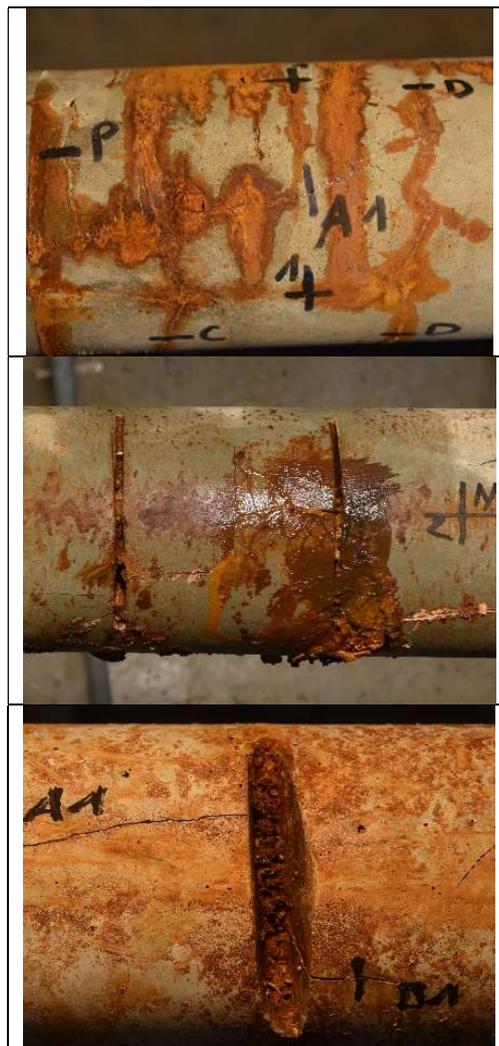


Abb. 40: Oben: DAT_VK_01; Mitte: DAT_VK_02; Unten: DAT_VK_03

Das Freilegen erfolgte durch das Einschneiden rund um den genauer betrachteten Bereich und dem Entfernen des Verpressgutes von Hand. In Abb. 41 werden die Schritte anhand von DAT_VK_02 dargestellt.

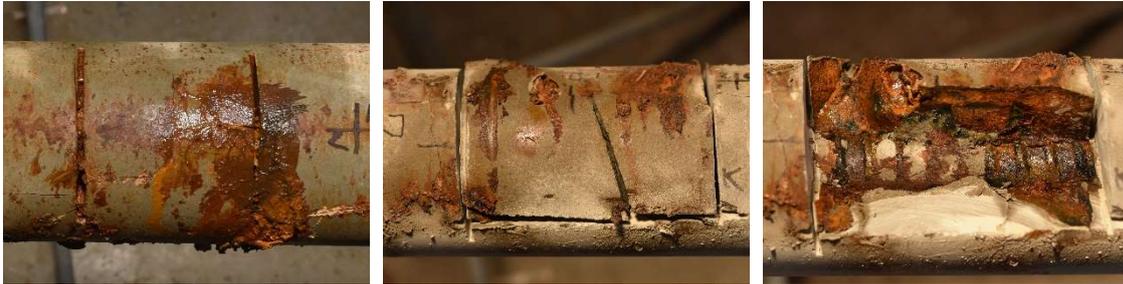


Abb. 41: Links: nach dem Ausbau und vor der Querschnittsfreilegung; Mitte: nach dem Einschneiden des Betonkörpers; Rechts: nach dem händischen freilegen des Querschnittes

Nach der Dokumentation derartiger Korrosionsstellen, wurde der restliche Verpresskörper händisch von der Bewehrung getrennt. In der nachfolgenden Abb. 42 ist DAT_VK_01 vor und nach der Versuchsauswertung dargestellt.



Abb. 42: DAT_VK_01; Oben: vor der Versuchsauswertung; Unten: Teilausschnitt nach der Versuchsauswertung

5.4.1 DAT_VK_01

Bei DAT_VK_01 sind während des Entspannens teilweise sehr große Längsrisse (vgl. Abb. 39) entstanden. Die Breite der Längsrisse ging dabei von 0,10 mm bis 1,00 mm. Querrisse wurden in einer Breite von 0,10 mm bis 0,30 mm gemessen. Der Versuchskörper wirkte auf den ersten Blick nicht bis schwach korrodiert (vgl. Abb. 42). Aufgrund der starken Ansammlung von Rost im Bereich der Risse D, P, A1, wurde dieser Bereich freigelegt. Dabei wurde ein Abstandhalter angeschnitten. Nach der Entfernung des Mörtels in diesem Bereich wurde ersichtlich, dass sich der Riss A1 entlang des Abstandhalters fortgepflanzt hatte und es zu einer Elektrolyt-Einlagerung unter dem Abstandhalter gekommen ist. Nach Dokumentation dieser Stelle wurde der restliche Mörtel vom Stab getrennt. Dabei

kam zum Vorschein, dass es am Stahlstab über die ganze Länge des Betonkörpers zu Korrosion gekommen ist. In Abb. 43 und Abb. 44 ist die Versuchsauswertung ersichtlich.

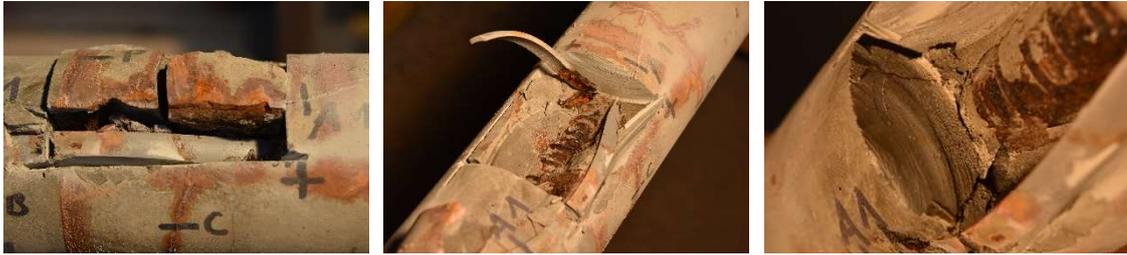


Abb. 43: Links: Angeschnittene Abstandhalter und leicht lösbarer Mörtel, Mitte: Elektrolyteinlagerung unter dem Abstandhalter, Rechts: Fortpflanzung des Risses A1 entlang des Abstandhalters



Abb. 44: Links: Korrosion und Rissbild im Bereich eines Abstandhalters, Mitte: Korrosion durch Einlagerung des Elektrolytes in den Versuchskörper, Rechts: Korrosionserscheinungen in der Auflagefläche des Abstandhalters

5.4.2 DAT_VK_02

Bei DAT_VK_02 konnte während des Korrosionsprozesses eine Ansammlung von Korrosionsprodukten im Bereich der Querschnittsschwächungen beobachtet werden. Bei den Rissen im Betonkörper konnte beobachtet werden, dass manche Risse, unabhängig von der Breite, zu einer stärkeren Korrosion beigetragen haben (vgl. Abb. 45). Die Längsrissbreite betrug 0,10 mm bis 0,90 mm, bei den Querrissen 0,10 mm bis 1,00 mm. Nach der Dokumentation der Risse wurde ein Querschnitt im Bereich der Einschnitte freigelegt. In diesem Bereich lag auch der Längsriss B1 (vgl. Abb. 45) mit einer Breite von 0,20 mm bis 0,30 mm. Nach dem Einschneiden des Betonkörpers, ließ sich der Mörtel händisch entfernen. Dadurch wurde die Korrosion, welche durch den Riss B1 entstanden war, freigelegt (vgl. Abb. 45). Nach dem Entfernen des Mörtels im kompletten Schädigungsbereich wurde ersichtlich, dass es im Bereich der Querschnittsschwächungen zu einer verstärkten Korrosion gekommen war (vgl. Abb. 46). Nach Dokumentation dieser Bereiche wurde der restliche Mörtel, mit Ausnahme des oberen Abstandhalters, welcher nicht im Bereich der Korrosionswanne war, vom Stab getrennt. Dieser Bereich konnte aufgrund der geringen Rissbreiten nicht vom Stab getrennt werden. Die Risse in diesem Bereich wiesen keine Korrosion an der Oberfläche auf und hatten sich entlang der Oberfläche des Abstandhalters fortgepflanzt (vgl. Abb. 46). Der untere Abstandhalter ließ sich per Hand entfernen (vgl. Abb. 46). Beim

Freilegen des restlichen Bewehrungsstabes kam zum Vorschein, dass er über die gesamte Länge des Verpresskörpers korrodiert war. In Abb. 45 und Abb. 46 ist die Versuchsauswertung ersichtlich.



Abb. 45: Links: Rissbild des Versuchskörpers, Mitte: Längsriss B1, Rechts: Korrosion durch Längsriss B1



Abb. 46: Links: Einfluss der Querschnittsschwächung auf die Korrosion, Mitte: Oberer Abstandhalter, Rechts: Unterer Abstandhalter

5.4.3 DAT_VK_03

Bei DAT_VK_03 konnte schon während des Korrosionsvorganges eine Ablagerung von Korrosionsprodukten im keilartigen Einschnitt beobachtet werden (vgl. Abb. 47). Der Einschnitt wurde von den Längsrissen A1 und in Fortsetzung B1 rechtwinklig geschnitten. Der Querriss E durchtrennte umlaufend den Betonkörper. Der Versuchskörper wirkte von außen schwach korrodiert (vgl. Abb. 47). Die Längsrissbreite betrug 0,10 mm bis 0,40 mm, bei den Querrissen 0,10 mm bis 1,10 mm im Bereich des oberen Abstandhalters. Nach der Dokumentation der Risse wurde ein Querschnitt im Bereich des Einschnittes freigelegt. In diesem Bereich lag auch der Längsriss A1 und B1 (vgl. Abb. 47) Mit einer Breite von 0,30 mm und 0,10 mm bis 0,40 mm. Nach dem Einschneiden des Betonkörpers, ließ sich der Verpresskörper händisch entfernen. Dabei wurde ersichtlich, dass der Bereich des Einschnittes stärker korrodiert hatte (vgl. Abb. 48), als die danebenliegenden Bereiche. Anschließend wurde auch hier wieder der Verpresskörper vom Stab entfernt, mit Ausnahme des Bereiches des oberen Abstandhalters, welcher außerhalb der Korrosionswanne war. Dieser Bereich konnte aufgrund der geringen Rissbreiten nicht vom Stab getrennt werden. Die Risse in diesem Bereich wiesen keine Korrosion an der Oberfläche auf und hatten sich entlang der Oberfläche des Abstandhalters fortgepflanzt (vgl. Abb. 48). Der untere Abstandhalter ließ sich per Hand entfernen (vgl. Abb. 48). Beim Freilegen des restlichen Bewehrungsstabes kam zum Vorschein, dass er über die gesamte Länge des Betonkörpers korrodiert hatte.



Abb. 47: Links: Ablagerungen im Bereich des Einschnittes, Mitte: DAT_VK_03 nach der Korrosion, Rechts: Einschnitt während des Freilegens



Abb. 48: Links: Korrosion im Bereich der Schwächung, Mitte: Rissbild beim oberen Abstandhalter, Rechts: unterer Abstandhalter

5.4.4 DAT_VK_04

Bei DAT_VK_04 konnte von außen kaum Korrosion beobachtet werden. Es konnten auch keine „besonderen“ Stellen definiert werden. Der Versuchskörper wies außerdem kaum Risse auf. Daher wurde entschieden den Betonkörper abzustemmen um den verzinkten Bewehrungsstab freizulegen. Dabei wurden mehrere korrodierte Stellen freigelegt. Diese korrodierten Stellen sind in Abb. 49 ersichtlich. Der Bewehrungsstab hatte außer an diesen Stellen nicht korrodiert.



Abb. 49: Links: Versuchskörper mit Meterstab, Mitte: Korrosion mittig im Stab, Rechts: Einfluss Abstandhalter

5.4.5 DAT_VK_05

DAT_VK_05 wies von außen eine deutlich stärkere Korrosion auf als DAT_VK_04. Es waren wie bei DAT_VK_04 kaum Risse ersichtlich und es hat sich nicht bei jedem Riss ein Korrosionsprodukt abgelagert. Es wurde daher entschieden, den Betonkörper abzustemmen um den Bewehrungsstab freizulegen. Dabei wurden vor allem im Bereich des Querrisses B Korrosionsschäden am Bewehrungsstab festgestellt, wie in Abb. 50 ersichtlich. Des Weiteren wurde festgestellt, dass durch das Aufschrauben der Muffe die Verzinkung beschädigt wurde, wie in Abb. 51 ersichtlich.



Abb. 50: Links: Versuchskörper mit Meterstab; Mitte: Querriss B mit Korrosionsablagerung; Rechts: Korrosion am Bewehrungsstab



Abb. 51: Beschädigung der Verzinkung im Bereich der Muffe

5.4.6 DAT_VK_06

DAT_VK_06 wirkte von außen stark korrodiert. Beim Entspannen sind teils sehr große Längsrisse entstanden. Dadurch, dass die Korrosionsablagerungen über den gesamten Verpresskörper verteilt waren, wurde entschieden den Bewehrungsstab frei zu stemmen. Dabei wurde ersichtlich, dass es durch das Umsetzen der Korrosionswanne zu keiner wesentlich verstärkten oder verminderten Korrosion in den Bereichen gekommen ist. Der Bewehrungsstab hat allerdings fast über die gesamte Länge korrodiert, auch in Bereichen wo keine Korrosionswanne im Einsatz war. In Abb. 52 werden die Korrosionsabschnitte nach dem Ausbau und der freigelegte Bewehrungsstab dargestellt.



Abb. 52: Links: Zweiter Korrosionsabschnitt; Mitte: DAT_VK_06 nach dem Ausbau; Rechts: Freigelegter Bewehrungsstab

5.4.7 DAT_VK_07

Bei diesem Versuchskörper konnten starke Korrosionsablagerungen beobachtet werden. DAT_VK_07 wurde während des Ausbaues aus der Korrosionswanne komplett zerstört. Dadurch konnten keine Rissbreiten bzw. der

äußeren Erscheinungsformen vorgenommen werden. Der Bewehrungsstab hat über die gesamte Länge mit verschiedener Intensität korrodiert. Ein Zusammenhang mit der Rissbreite kann allerdings nicht rekonstruiert werden. Das Ergebnis der Korrosionsnachbildung ist in Abb. 53 ersichtlich.



Abb. 53: Links: Unteres Ende mit verbleibenden Betonkörper; Mitte: Mitte Stab mit Korrosionsschäden; Rechts: Oberes Stabende

5.4.8 DAT_VK_08

Bei DAT_VK_08 wurde nach acht Stunden der Versuch abgebrochen. Grund dafür war, dass sich die Spannung über die Dauer nicht verändert hat und bei 0 Ampere verharrte. In der äußeren sichtbaren Schicht des Verpresskörpers konnten mehrere Querrisse während des Spannens beobachtet werden. Der Austritt von Korrosionsprodukten oder ähnlichem konnte nicht festgestellt werden.

5.4.9 DAT_VK_09

Bei diesem Versuchskörper konnte ein identisches Verhalten zu DAT_VK_01 (vgl. Kapitel 5.4.1) erkannt werden. Auf eine Dokumentation dieser wurde im Zuge der Arbeit daher verzichtet.

5.5 Zusammenfassung der Versuche

Mit den in den Kapiteln 5.4.1 bis 5.4.9 gezeigten Versuchsergebnissen wurde versucht, erste Erkenntnisse aus der Durchführung bzw. der Dokumentation einer künstlichen Korrosionsnachbildung bei Mikropfählen zu zeigen. Dabei wurden unterschiedliche Arten des Korrosionsschutzes sowie eine Schwächung der Korrosionsschutzmaßnahmen simuliert und durch eine künstliche Beaufschlagung mit einer Korrosionsbeanspruchung untersucht. In nachfolgendem Kapitel 6 findet nun eine gesammelte Auswertung und darauf aufbauende Interpretation dieser Versuchsergebnisse statt.

6 Interpretation der Versuchsergebnisse

In diesem abschließenden Kapitel der Arbeit werden die Ergebnisse der in Kapitel 5 beschriebenen Versuche gesammelt betrachtet und interpretiert. Die Interpretation der Versuchsergebnisse unterteilt sich in die Bereiche der Risse, der Korrosionsschutzmaßnahmen und sonstigen Anmerkungen zu den durchgeführten Versuchen. Dies soll zum einen dazu dienen, eine gesamtheitliche Aussage zu Korrosionsschutzmaßnahmen bei Mikropfählen sowie den dafür verwendeten Systemen zu ermöglichen. Zum anderen sollen dabei auch Effekte aus den Untersuchungen und der Versuchsdurchführung eingearbeitet werden, welche eine Weiterverwendung der Ergebnisse und eine Weiterentwicklung dieser Versuchsmethode ermöglichen sollen.

6.1 Einfluss der Rissbildung

Beim Spannen der Versuchskörper konnte beobachtet werden, dass Querrisse (orthogonal auf die Stabachse) entlang des gesamten Verpresskörpers entstanden. Im Bereich von Querschnittsschwächungen wie in den Versuchen in Kapitel 5.4.2 und 5.4.3 gezeigt, lagen diese gehäuft vor. Auch im Nahbereich der Abstandhalter sind umlaufende Querrisse aufgetreten. Diese haben sich entlang der Abstandhalter bis zur Bewehrung (dem Stab) fortgepflanzt. Längsrisse hingegen sind meist im Zuge des Entspannens – und den damit verbundenen mechanischen Einwirkungen auf den Stab - entstanden. Während des Spannvorgangs konnten diese nicht wahrgenommen bzw. erkannt werden. Die beim Entspannen entstandenen Längsrisse dürften auf die Vergrößerung des Volumens, welche durch die Korrosion eines Metalls stattfindet, sowie auf die Stauchung durch die Entspannung zurückzuführen sein. Diese Längsrisse waren meist deutlich größer als die beim Spannen entstandenen Querrisse. Auch die flächige Korrosion des Bewehrungsstabes (vgl. Abb. 54) dürfte die Haftkraft zwischen Mörtel und Bewehrung verringert haben.



Abb. 54: Korrosion über die gesamte Länge der Korrosionswanne

In Abb. 55 sind Querrisse beim Spannen und ein Längsriss nach dem Entspannen schematisch abgebildet.



Abb. 55: Links: Querrisse beim Spannen; Rechts: Längsriss nach dem Ausbau

Durch diese Erkenntnisse kann darauf geschlossen werden, dass Querrisse im Verpresskörper zur Korrosion bei zentrisch belasteten Mikropfählen beitragen, Längsrisse durch Korrosion und Belastungswechsel entstehen und somit bei häufigerem Lastwechsel ebenfalls zur verstärkten Korrosion beitragen.

Generell konnte im Zuge der Versuchsdurchführung erkannt werden, dass bei allen Rissen bzw. Querschnittsschwächungen, welche bis zur Oberkante des Stabes reichten, Korrosionsprodukte zufolge der künstlichen Korrosionseinwirkung zu erkennen waren. Wie in Abb. 56 dargestellt, lagen diese in Abhängigkeit der Rissbreite – und damit der freiliegenden Metalloberfläche - in unterschiedlichen Ausprägungen vor.



Abb. 56: Beispiele für Korrosionsprodukte

6.2 Einfluss von Korrosionsschutzmaßnahmen

Der Einfluss von Korrosionsschutzmaßnahmen kann durch einen Vergleich der Chargen deutlich gemacht werden. Bei Charge 1, blanke Stäbe (ohne Verzinkung), waren an jedem Riss Korrosionsprodukte zu erkennen. Im direkten Einflussbereich der Risse war zudem eine verstärkte lokale Korrosion – in Form einer Lochfraßkorrosion bzw. einer Korrosionsmulde (vgl. Abb. 48 Links) zu erkennen. Des Weiteren hat sich die Korrosion, ausgehend von diesen Rissen, entlang des Bewehrungsstabes ausgebreitet und führte zu einer Korrosion des

ganzen Stabes, welcher sich in der Korrosionswanne befand, wie in Abb. 54 ersichtlich. Bei Charge 2 wurde der Versuch auch mit zwei Versuchskörpern mit Verzinkung durchgeführt (vgl. 5.4.4 und 5.4.5). Bei diesen Versuchskörpern konnte fast keine Korrosion an der Oberfläche des Stabes beobachtet werden. Die wenigen korrodierten Bereiche bei DAT_VK_04 (vgl. Abb. 49) und DAT_VK_03 (vgl. Abb. 50) sind auf Beschädigungen der Verzinkung zurückzuführen. Bei diesen Stellen kam es zu einer lokal tieferen Korrosion (vgl. 4.5.2), wie in Abb. 57 ersichtlich.



Abb. 57 Lochfraßkorrosion bei DAT_VK_04

6.3 Sonstige Anmerkungen zu den Versuchen

Ein weiteres Ergebnis dieser Versuchsreihe ist, dass flächige Abstandhalter zwei Problematiken aufweisen. Erstens pflanzen sich Risse an ihrer glatten Oberfläche sehr gut bis zur Bewehrung fort. Zweitens kann es beim Ausinjizieren oder Betonieren dazu kommen, dass sich Luftporen zwischen Abstandhalter und Bewehrung und/oder an der Unterseite des Abstandhalters bilden. Beide Problematiken bieten die Möglichkeit, dass sich ein Elektrolyt im Verpresskörper sammeln kann.

Die Problematik der Lufteinschlüsse sowie der Blasenbildung konnte generell bei der Herstellung der Versuchskörper erkannt werden. Trotz der vertikalen Herstellung der Verpresskörper, sowie einer ausreichenden Verdichtung, mittels Hammerschlägen auf das Schalrohr, konnten einzelne Luftporen oder Verdichtungsnerster (vgl. Abb. 58) nicht beseitigt werden. Wenn diese oberflächennahe auftraten, ermöglichten diese eine rasche und tieferreichendere Rissbildung, wohingegen stabnahe Luftporen eine Ansammlung von Korrosionsprodukten ermöglichten.



Abb. 58: Beispiele für Korrosionsprodukte in Luftporen bzw. Verdichtungsnestern

6.4 Zusammenfassende Interpretation der Versuche

Mit dem in dieser Arbeit beschriebenen Versuchsaufbau war es möglich, die Effekte einer Korrosionsschädigung bei unterschiedlichen Korrosionsschutz Maßnahmen – genauere Ausführungen hierzu sind in der Arbeit von Dold (2021) zu finden – nachzubilden und deren Einfluss auf das Tragelement (Zugglied) zu simulieren. Ein Rückschluss auf die tatsächliche korrosionsbedingte Schädigung eines Mikropfahles ist hiermit jedoch nur bedingt möglich. Wie in Kapitel 4 angeführt, gibt es eine Vielzahl an Einwirkungen, Ursachen und Einflussgrößen, welche das Fortschreiten einer Korrosion beeinflussen bzw. diese beschleunigen oder abschwächen. Generell konnte jedoch die Korrosionsschutz Eigenschaft der drei betrachteten Korrosionsschutz Maßnahmen Zementsteinüberdeckung, Verzinkung und doppelter Korrosionsschutz gezeigt werden. Zudem konnten einige Effekte bei der Versuchsdurchführung (z.B. Abstandhalter, Längsrisse zufolge des Ausbaues) beobachtet werden, welcher einer weiteren Untersuchung und Betrachtung erfordern.

Eine kurze Zusammenfassung der Versuchsergebnisse bzw. ein Resümee über die in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse und Ergebnisse wird im nachfolgenden Kapitel gegeben.

7 Resümee und Zusammenfassung

Als Resümee dieser Arbeit kann gesagt werden, dass nicht ausschließlich die Rissbreite in den Verpresskörpern für die Korrosion von Zugelementen aus Stahl entscheidend ist. Faktoren wie lokale Schwächungen des Betonkörpers, Abstandhalter oder Luftblasen beeinflussen die Rissbildung und somit das Korrosionsverhalten. Dadurch besteht die Möglichkeit, dass Elektrolyt an der Bewehrung anliegt und somit der Korrosionsprozess beginnen kann. Des Weiteren zeigten die Versuche, dass Abstandhalter in Hinblick auf die Korrosion ähnlich wie lokale Schwächungen fungieren können. Durch ihre glatte Oberfläche entsteht kein Verbund mit dem Verpresskörper. Der Verpresskörper neigt daher entlang der Abstandhalter verstärkt zum Reißen, da hier der Querschnitt des Verpresskörpers geschwächt ist bzw. der Rissverlauf durch die glatten Kunststoffteile definiert wird. Es konnte außerdem beobachtet werden, dass sich das Elektrolyt zwischen Abstandhalter und Bewehrungsstab eingenistet hat und es somit in diesen Bereichen zu (verstärkter) Korrosion gekommen ist. Es kann außerdem gesagt werden, dass die Verzinkung des Bewehrungsstabes großflächige Korrosion verhindert. Diese kann aber ersichtlich in Zusammenhang mit Schädigungen des Zinkkörpers zu einer lokalen Korrosion führen. Ein weiterer Nachteil der Verzinkung ist, dass Verbindungselemente wie Muffen nur erschwert und durch Beschädigung der Verzinkung aufgeschraubt werden können. Das Aufschrauben der Muffe beschädigt die Verzinkung und kann somit zu einer Lochfraßkorrosion (Ausbildung eines Lokalelementes) inmitten einer Spaltkorrosion führen. Die durchgeführten Versuche können wie folgt zusammengefasst werden:

- Korrosion trat bei allen Rissen auf, wobei die Rissbreite nicht entscheidend für die Entstehung bzw. Verhinderung des Korrosionsprozesses war;
- lokale Schwächungen der Korrosionsschutzmaßnahmen wie Querschnittsschwächung der Zementsteindeckung führen zu einem verstärkten und auch beschleunigten Auftreten von Korrosion;
- Verzinkte Stäbe weisen einen höheren Korrosionswiderstand auf, sofern die Zinkschicht durch den Einbau oder die Herstellung nicht beschädigt wurde;
- Abstandhalter konnten als eine Problemstelle identifiziert werden, diese sind jedoch auch zur Sicherstellung der Überdeckung zwingend erforderlich.

Abschließend sei noch angeführt, dass die hier verwendete Methode der künstlichen Korrosionsnachbildung lediglich eine qualitative und keine quantitative Aussage zum Korrosionsgeschehen liefert. Eine Ableitung der Nutzungsdauer (bzw. des Korrosionszeitraumes) war mit diesen Untersuchungen nicht möglich. Jedoch konnten die Effektivität von Korrosionsschutzmaßnahmen bzw. auch andere Effekte hiermit untersucht werden. Für weitere Versuche empfiehlt es sich auch, einen Versuchsaufbau zu verwenden, welcher den Einbau eines Mikropfahles bzw. auch die Wirkung des Bodens (Verbund) berücksichtigt.

8 Literaturverzeichnis

- ANP - System GmbH. *Zulassung ANP-Mikropfahl SAS 550*. (ANP - System GmbH, Herausgeber) Abgerufen am 18. 11 2020 von https://www.anp-systems.at/fileadmin/user_upload/ANP_-_Mikropfahl_SAS-550.pdf
- ANP - System GmbH. *Zulassung ANP-Mikropfahl SAS 670*. (ANP - System GmbH, Herausgeber) Abgerufen am 18. 11 2020 von https://www.anp-systems.at/fileadmin/user_upload/ANP-Mikropfahl_SAS670_BMVIT-327120_0021_17_pdf.pdf
- ANP - System GmbH. *Zulassung ANP-SHS Mikropfahl*. (ANP - System GmbH, Herausgeber) Abgerufen am 18. 11 2020 von https://www.anp-systems.at/fileadmin/user_upload/ANP_-_Mikropfahl_SAS-550.pdf
- ASCE. (2009). *2009 Report Card for America's Infrastructure*. Reston, Va.: American Society of Civil Engineers.
- Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau - Verdrängungspfähle*. (Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, & Schweizerische Normen-Vereinigung, Produzenten) Von SN EN 12699*SIA 193.102 = Exécution des travaux géotechniques spéciaux - Pieux avec refoulement du sol = Execution of special geotechnical works - Displacement piles: <http://shop.snv.ch/> abgerufen
- Bekanntmachung der Leitlinie für die europäische technische Zulassung für Bausätze für Steinschlagschutznetze (ETAG 027)*. (2008). Köln: Bundesanzeiger-Verl.-Ges.
- Bergmeister, K. (2009). *Schutzbauwerke gegen Wildbachgefahren*. Berlin: Ernst & Sohn.
- Boley, C. (Hrsg.). (2012). *Handbuch Geotechnik* (1. Aufl. Ausg.). Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.
- Briehl, H. (2008). *Chemie der Werkstoffe* (2., überarb. und erw. Aufl. Ausg.). Wiesbaden: Teubner.
- Burtscher, S., Rebhan, M., Marte, R., & Scharinger, F. *Neue Methoden zur Korrosionsdetektion an Litzen- und Stabankersystemen*. Graz; University of Technologie.
- Dold, (2021). *Versuchstechnische und analytische Untersuchung zum Rissverhalten und Rissbild von Verpresskörper bei Zugelementen*. Graz: Technische Universität Graz.
- Wöls, (2018). *Versuchstechnische Untersuchung von korrosionsgeschädigten Winkelstützmauern*. Graz: Technische Universität Graz.

DSI Underground Austria GmbH. *Typenblatt zur Zulassung*. (DSI Underground Austria GmbH, Herausgeber) Abgerufen am 18. 11 2020 von DYWI® Drill Hohlstab-System als zugbeanspruchte Verpresspfähle: <https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:aa70c7d8-b8ab-4558-bc1b-81dd1a77c52c/ZVP-DYWI-Drill.pdf>

DSI Underground Austria GmbH. *Typenblatt zur Zulassung*. (DSI Underground Austria GmbH, Herausgeber) Abgerufen am 18. 11 2020 von GEWI® Plus Mikropfahl-System: <https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:0d044a5a-7777-4537-add6-959533bb0d1a/GEWI-Plus-Mikropfahl.pdf>

DSI Underground Austria GmbH. *Typenblatt zur Zulassung*. (DSI Underground Austria GmbH, Herausgeber) Abgerufen am 18. 11 2020 von Mikropfähle DYWI® Drill Hohlstab-System als temporärer Mikropfahl und als Dauerpfahl: <https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:0209b7b5-af57-4e7e-9f25-02c7e487179d/DYWI-Drill-Mikropfahl.pdf>

Mikulik, B. (2019). *Versuchstechnische Untersuchungen zu vorgespannten Ankern*. Graz: Technische Universität Graz.

GEOBRUGG AG. *ATTENUATOR Steinschlagschutz*. (GEOBRUGG AG, Herausgeber) Abgerufen am 18. 9 2020 von https://www.geobrugg.com/datei.php?src=portal/downloadcenter/dateien/downloadcenter/level1-brochures/Rockfall-Impact-Attenuators/ATTENUATOR_product_profile_200131-DE.pdf

GEOBRUGG AG. *CANOPY-System*. (GEOBRUGG AG, Herausgeber) Abgerufen am 18. 9 2020 von https://www.geobrugg.com/datei.php?src=portal/downloadcenter/dateien/downloadcenter/level1-brochures/Rockfall-CANOPY/CANOPY_product_profile_200131-DE.pdf

GEOBRUGG AG. *GBE-Barrieren: Wirtschaftlichste Steinschlagbarrieren dank einfacher Installation*. (GEOBRUGG AG, Herausgeber) Abgerufen am 18. 11 2020 von <https://www.geobrugg.com/de/Steinschlagbarrieren-GBE-8189,7859.html>

GEOBRUGG AG. *Hangmuren- und Murgangschutz*. (GEOBRUGG AG, Herausgeber) Abgerufen am 23. 9 2020 von https://www.geobrugg.com/de/Hangmuren-und-Murgangschutz-77518,7858.html?branche_id=59494

GEOBRUGG AG. *RXE-Ringnetz-Barrieren: Höchste Energieaufnahme bei geringster Auslenkung*. (GEOBRUGG AG, Herausgeber) Abgerufen am 18. 11 2020 von <https://www.geobrugg.com/de/Steinschlagbarrieren-RXE-7956,7859.html>

- GEOBRUGG AG. *Spiralseilanker und FLEX-Kopf*. Abgerufen am 18. 11 2020 von https://www.geobrugg.com/datei.php?src=portal/downloadcenter/dateien/downloadcenter/level1-brochures/Verankerungen/L1_Anchoring_brochure_screen_200319-DE.pdf
- GEOBRUGG AG. *System-Handbuch SL-150*. (GEOBRUGG AG, Herausgeber) Abgerufen am 18. 11 2020 von https://www.geobrugg.com/datei.php?src=portal/downloadcenter/dateien/downloadcenter/level2-product-manuals/SL-barriers/SPIDER-SL-150-Handbuch-14_161117.pdf
- Hertenberger. (2008). Rost schläft nicht. *Der Standard* Abgerufen am 30. 11 2020 von <https://www.derstandard.at/story/1216918615961/rost-schlaeft-nicht>
- Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.). (2018). Grundlagen zur Qualitätsbeurteilung von Steinschlagschutznetzen und deren Fundation.
- Hofmann, R., & Mölk, M. (2012). Bemessungsvorschlag für Steinschlagschutzdämme. *35(1)*, S. 22–33.
- Holzer, C. (2018). Wirtschaftsfaktor Korrosionsschutz. *JOT Journal für Oberflächentechnik*, *58(1)*, S. 20–21.
- Bauer Spezialtiefbau (Hrsg.). *Homepage Bauer Spezialtiefbau*. Abgerufen am 23. 9 2020 von https://www.bauer.de/bst/construction_method/mikropfahl/
- Keller Grundbau (Hrsg.). *Keller Grundbau*. Abgerufen am 23. 9 2020 von <https://www.kellergrundbau.at/expertise/verfahren/mikropfaehle>
- Kolymbas, D. (2011). *Geotechnik* (3., neu bearb. Aufl. Ausg.). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Maaß, P., & Peißker, P. (Hrsg.). (2008). *Handbuch Feuerverzinken* (3., vollst. überarb. Aufl. Ausg.). Weinheim: Wiley-VCH.
- Margreth, S. (2007). *Lawinenverbau im Anbruchgebiet* (Bd. 0704). Bern: Bundesamt für Umwelt BAFU.
- Maybaum, G., Mieth, P., Oltmanns, W., & Vahland, R. (2011). Pfahlgründungen. In G. Maybaum, P. Mieth, W. Oltmanns, & R. Vahland, *Verfahrenstechnik und Baubetrieb im Grund- und Spezialtiefbau* (S. 259–342). Wiesbaden: Vieweg+Teubner.
- Michael, M., & Robert, H. (2018). *Schutzbauwerke gegen Steinschlag nach ONR 24810*.
- Minova MAI GmbH. *Typenblatt zur Zulassung*. (Minova MAI GmbH, Herausgeber) Abgerufen am 18. 11 2020 von Selbstbohrender Mikropfahl System Minova

MAI:

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwie_qipyYztAhUHC-wKHflvA10QFjAAegQIAhAC&url=https%3A%2F%2Fwww.bmk.gv.at%2Fdam%2Fjcr%3A622de796-2d3f-447f-938a-c023dc54b935%2FMinova-MAI-Mikropfahl.pdf&usg=AOvVaw2CmciHwITBQ3t6zHV985m3

Mölk, M., & Hofmann, R. (2013). *Design of rock-fall embankments according to the Austrian ÖNORM Rule ONR 24810:2013*.

Nürnberger, U. (1995). *Korrosion und Korrosionsschutz im Bauwesen*. Wiesbaden: Bauverl.

ÖNORM EN 14199:2016. (2016). (*ÖNORM EN 14199*), *Ausg.: 2016-10-15*, 64. Wien.

ÖNORM EN 1993-1-1:2017. (2017). (*ÖNORM EN 1993-1-1*), *Ausg.: 2017-11-01*. Wien.

ÖNORM EN 1993-5:2012. (2012). (*ÖNORM EN 1993-5*), *Ausg.: 2012-03-01*, 98. Wien.

ÖNORM EN 1997-1-1:2013. (2013). (*ÖNORM EN 1997-1-1*), *Ausg.: 2013-09-01*, 38. Wien.

ÖNORM EN 1997-1-3:2015. (2015). (*ÖNORM EN 1997-1-3*), *Ausg.: 2015-08-01*, 48. Wien.

ONR 24805:2010. (2010). (*ONR 24805*), *Ausg.: 2010-06-01*, 28. Wien.

ONR 24806:2011. (2011). (*ONR 24806*), *Ausg.: 2011-12-15*, 90. Wien.

ONR 24807:2010. (2010). (*ONR 24807*), *Ausg.: 2010-03-01*, 30. Wien.

ONR 24810:2017. (2017). (*ONR 24810*), *Ausg.: 2017-02-15*, 114. Wien.

Rebhan, M. J., Marte, R., Vorwagner, A., Tschuchnigg, F., & Kwapisz, M. (2019). Corrosion damage to cantilever MR walls – Representation in tests and calculations. *Geomechanics and Tunnelling*, 12(5), S. 506–514.

Rebhan, (2019). *Korrosionsschäden bei Winkelstützmauern*. Graz: Technische Universität Graz.

Richtlinie über die Typenprüfung von Schutznetzen gegen Steinschlag. (2001). *Ausg.: 2011-12-15*, 41.

Rudolf-Miklau, F., & Siegfried Sauer Moser (Hrsg.). (2011). *Handbuch Technischer Lawinenschutz* (1. Aufl. Ausg.). Berlin: Ernst & Sohn.

SAH Stahlwerk Annahütte. *Typenblatt zur Zulassung*. (SAH Stahlwerk Annahütte, Herausgeber) Abgerufen am 18. 11 2020 von Mikropfahl SAS 550:

<https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:d3453dbd-7ec0-41da-bbab-78594335817f/SAH-Mikropfahl-SAS-550.pdf>

Schmidt, H.-H., Buchmaier, R. F., & Vogt-Breyer, C. (2014). *Grundlagen der Geotechnik* (4., vollst. überarb. und aktual. Aufl. Ausg.). Wiesbaden: Springer Vieweg.

Schuler, W. (2007). *Einwirkungen infolge Lawinien auf Schutzgalerien* (Ausg. 2007, V2.00 Ausg.). Bern: Bezugsquelle BBL Verkauf Bundespublikationen.

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Hrsg.). *Technischer Steinschlagschutz*. Wien.

Tostmann, K.-H. (2005). *Korrosion*. Weinheim: Wiley-VCH.

Trumer Schutzbauten. *Debris Flow and Shallow Landslide Mitigation*. (Trumer Schutzbauten, Herausgeber) Abgerufen am 23. 9 2020 von <https://trumer.ca/wp-content/uploads/2017/09/Trumer-Debris-Flow-Brochure.pdf>

Trumer Schutzbauten. *Debris Flow Standards*. (Trumer Schutzbauten, Herausgeber) Abgerufen am 18. 11 2020 von <https://trumer.ca/standards/debris-flow-standards/>

Trumer Schutzbauten. *Hangmurbarrrieren*. (Trumer Schutzbauten, Herausgeber) Abgerufen am 18. 11 2020 von TS-HM-150-ZD: <https://de.trumer.ca/products/landslide-barriers/shallow-landslide-barriers/ts-hm-150-zd/>

Trumer Schutzbauten. *Landslide Barriers*. (Trumer Schutzbauten, Herausgeber) Abgerufen am 18. 11 2020 von <https://trumer.ca/landslide-barriers/>

Trumer Schutzbauten. *Rockfall Fences*. (Trumer Schutzbauten, Herausgeber) Abgerufen am 23. 9 2020 von <https://trumer.ca/rockfall-fences/>

Trumer Schutzbauten. *Rockfall protection system*. (Trumer Schutzbauten, Herausgeber) Abgerufen am 18. 11 2020 von TSC-3000-ZD Hybrid - Data Sheet: https://trumer.ca/wp-content/uploads/2016/12/TRUMER-TSC-3000-ZD-Hybrid-Austria-ENGLISH-08_14.pdf

Trumer Schutzbauten. *Rockfall Protection System*. (Trumer Schutzbauten, Herausgeber) Abgerufen am 23. 9 2020 von TSC-3000-ZD - Data Sheet: https://trumer.ca/wp-content/uploads/2016/12/TRUMER-TSC-3000-ZD-Austria-ENGLISH-06_14.pdf

Trumer Schutzbauten. *Rockfall Protection Systems*. (Trumer Schutzbauten, Herausgeber) Abgerufen am 23. 9 2020 von <https://trumer.ca/wp-content/uploads/2017/09/Trumer-Rockfall-Brochure.pdf>

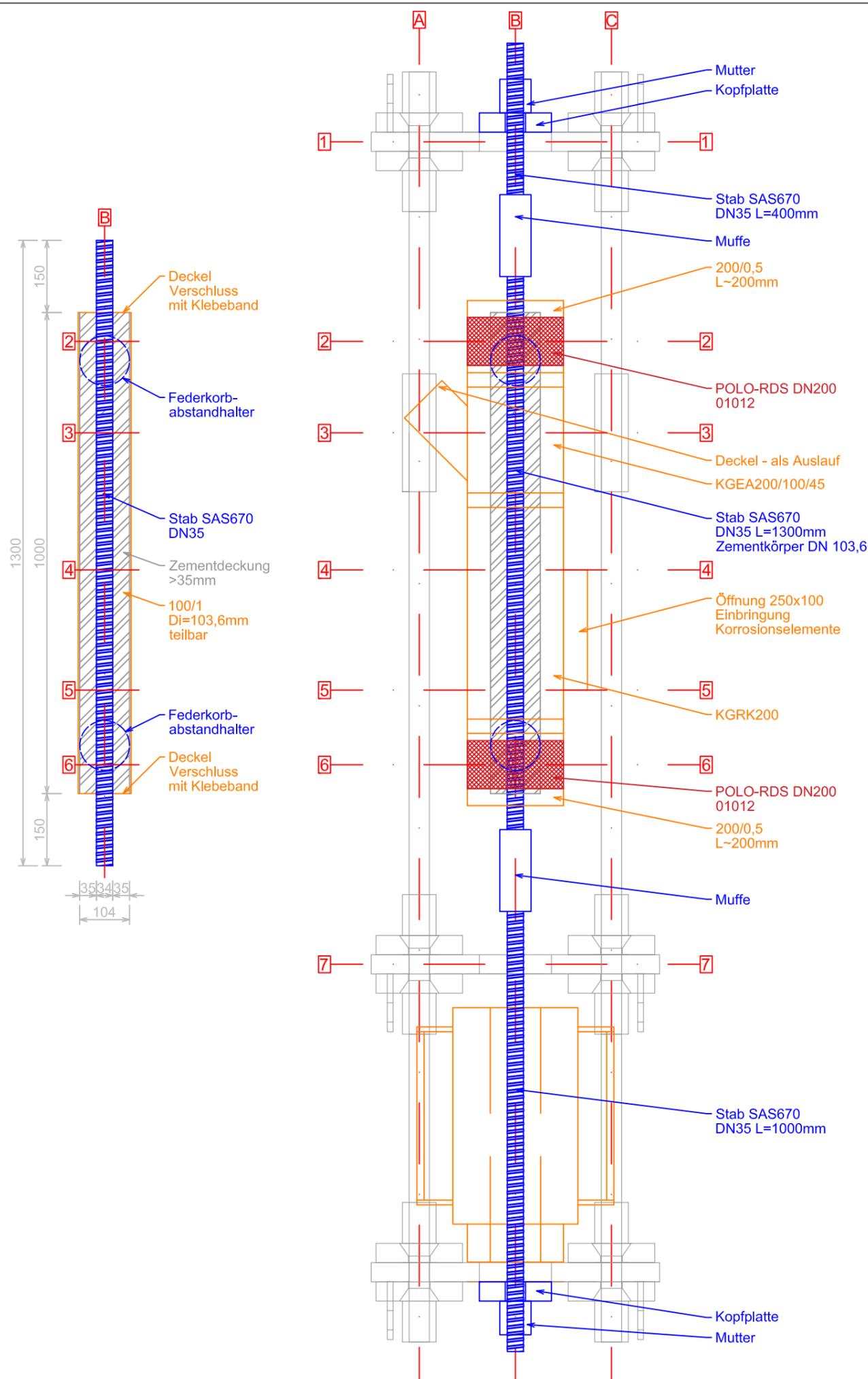
Weißbach, W., Dahms, M., & Jaroschek, C. (2015). *Werkstoffkunde* (19., vollst. überarb. und erw. Aufl. Ausg.). Wiesbaden: Springer Vieweg.

Witt, K. J. (Hrsg.). (2018). *Grundbau-Taschenbuch* (8. Auflage Ausg.). Berlin: Ernst & Sohn.

9 Anhang 1

Darstellung des Versuchsaufbaues mit Bauteilliste

#	Beschreibung	Seiten
1	Versuchsstandplanung Stand DAT_KV_01a	1 x A3



ANP-Systems

#	Beschreibung	Stück
FF	1 Betonstahl SAS 670 DN35 L = 400mm	2
FF	1 Betonstahl SAS 670 DN35 L = 1000mm	2
FF	2 Anker Mutter TR2002-35	4
FF	3 Pfahlkopfplatte TR2139-35	4
FF	6 Muffe TR3003-35	4
FF	11 Federkorbdistanzhalter	10
FF	1 Betonstahl SAS 670 DN35 L = 1300mm	5
FF	8 Schrumpfschlauch L = 1000mm	10

Pipeline

#	Beschreibung	Stück
FF	PVC 200/0,5	4
FF	Deckel PVC 100	4
FF	KGEA200/100/45	2
FF	KGRK200	2
FF	POLO-RDS DN200	2

Lieferadresse

Technische Universität Graz
 Wasserbaulabor Inffeldgasse
 z.H. Matthias Rebhan
 Inffeldgasse 26
 8010 Graz
 Tel. 0316 873 6738
Telefonische Voranmeldung 1h vor Anknunft!



Forschungsprojekt DAT
 Dauerhaftigkeit in der Ankertechnik

Institut für Bodenmechanik, Grundbau und Numerische Geotechnik
 Technische Universität Graz

Prüfaufbau Korrosionsprüfung

Schema Prüfaufbau Planung

Revision / Änderung

erste Ausarbeitung		09.06.2020		
Maßstab	Datum	Ersteller	Geprüft	Plan. Nr.
1:10	09.06.2020	Reb		DAT_KV_01a

10 Anhang 2

Datenblatt Mikropfahl

Zulassung ANP-Systems

Zulassungsnummer: BMVIT-327.120/0021-IV/IVVS2/2017

Zulassungsgegenstand: ANP-Mikropfahl SAS 670 mit Traggliedern aus Stabstahl mit Gewinderippung S670/800, Ø18, 22, 25, 28, 30, 35, 43, 50, 57.5, 63.5 und 75mm, sowie Muffenverbindungen/Verankerungen ohne und mit Klebung für den Kurzzeiteinsatz und als Dauerpfahl mit Abrostrate, Zementmörtelüberdeckung bzw. Verrohrung gemäß ÖNORM EN14199:2016, ÖNORM EN 1997-1-1:2013 und ÖNORM B 1997-1-3:2015

Seitenanzahl: 39 Seiten



TOP-QUALITÄT
geprüft + zugelassen



ZULASSUNG

ANP-MIKROPFAHL SAS 670

BMVIT-327.120/0021-IV/IWS2/2017

ANP - Systems GmbH

Anker | Nagel | Pfahl | Spannverfahren | Schalungsanker | Bewehrungstechnik | Gerätetechnik

Internationale Referenzprojekte und weitere Informationen: www.anp-systems.at



BMVIT – IV/IVVS2 (Verkehrssicherheit und Sicherheitsmanagement Infrastruktur)

Postanschrift: Postfach 201, 1000 Wien
Büroanschrift: Radetzkystraße 2, 1030 Wien
DVR 0000175
E-Mail: ivvs2@bmvit.gv.at



*Bundesministerium
für Verkehr,
Innovation und Technologie*

*Gruppe Infrastrukturverfahren
und Verkehrssicherheit*

ZULASSUNG

GZ: BMVIT-327.120/0021-IV/IVVS2/2017

Zulassungsgegenstand: ANP-Mikropfahl SAS 670 mit Traggliedern aus Stabstahl mit Gewinderippung S670/800, Ø18, 22, 25, 28, 30, 35, 43, 50, 57.5, 63.5 und 75mm, sowie Muffenverbindungen/Verankerungen ohne und mit Klebung für den Kurzzeiteinsatz und als Dauerpfahl mit Abrostrate, Zementmörtelüberdeckung bzw. Verrohrung gemäß ÖNORM EN 14199:2016, ÖNORM EN 1997-1-1:2013 und ÖNORM B 1997-1-3:2015.

Zulassungswerber und Hersteller des Mikropfahles: ANP – SYSTEMS GMBH
Christophorusstraße 12
5061 Elsbethen / Österreich

Hersteller des Stahltraggliedes und der Schraubkomponenten:
STAHLWERK ANNAHÜTTE Max Aicher GmbH & Co. KG
Max-Aicher-Allee 1+2
83404 Ainring – Hammerau / Deutschland

Hersteller der pfahlspezifischen Komponenten und des Korrosionsschutzes:
Die Hersteller sind im Überwachungsvertrag angeführt.

Geltungsbereich: Republik Österreich, Bundesstraßen

Geltungsdauer: ab sofort bis auf Widerruf,
Bedingung: jährliche Vorlage der Fremdüberwachung
längstens jedoch bis 16.04.2023

Fremdüberwachung: TÜV AUSTRIA TVFA Prüf- und Forschungs GmbH
(TÜV AUSTRIA TVFA)

Hinweis: Der Zulassungswerber verpflichtet sich, die zulassungserteilende Stelle, das ist das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Abteilung IV/IVVS2, von wesentlichen Änderungen, insbesondere vom Auslaufen von Überwachungsverträgen oder von konstruktiven Änderungen des Zulassungsgegenstandes, unverzüglich in Kenntnis zu setzen.

Wien, am 16.04.2018

Für den Bundesminister:
Dipl.-Ing. Dr. Johann HORVATITS

Typenblatt zur Zulassung

Zulassungsgegenstand:	ANP – Mikropfahl SAS 670 mit Traggliedern aus Stabstahl mit Gewinderippung S 670/800 Ø 18, 22, 25, 28, 30, 35, 43, 50, 57.5, 63.5 und 75 mm sowie Muffenverbindungen / Verankerungen ohne und mit Klebung für den Kurzzeiteinsatz und als Dauerpfahl mit Abrostrate, Zementmörtelüberdeckung bzw. Verrohrung
Zulassungsinhaber:	ANP – SYSTEMS GmbH Christophorusstraße 12 5061 Elsbethen / Österreich
Hersteller des Mikropfahls:	ANP – SYSTEMS GmbH Christophorusstraße 12 5061 Elsbethen / Österreich
Hersteller des Stahltraggliedes und der Schraubkomponenten:	STAHLWERK ANNAHÜTTE Max Aicher GmbH & Co. KG Max-Aicher-Allee 1 + 2 83404 Ainring – Hammerau / Deutschland
Hersteller der pfahlspezifischen Komponenten und des Korrosionsschutzes:	Die Hersteller sind im Überwachungsvertrag angeführt.
Fremdüberwachung:	TÜV AUSTRIA TVFA Prüf- und Forschungs GmbH (TÜV Austria TVFA)
Geltungsbereich:	Republik Österreich Bundesstraßen
Bezugsnorm:	ÖNORM EN 14199:2016 Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) – Pfähle mit kleinen Durchmessern (Mikropfähle) ÖNORM B 1997-1-1:2013 Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1-1: Allgemeine Regeln, Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1997-1 und nationale Ergänzungen ÖNORM B 1997-1-3:2015 Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1-3: Pfahlgründungen

Die Zulassung umfasst 17 Seiten und 19 Anlagen.

I. Allgemeine Bestimmungen

1. Mit der Zulassung durch das BMVIT (Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie) ist der Nachweis über die Brauchbarkeit des Zulassungsgegenstandes für den vorgesehenen Verwendungsbereich erbracht. Die Zulassung wird auf der Grundlage von nicht harmonisierten, technischen Spezifikationen und unbeschadet möglicher Schutzrechte Dritter erteilt.
2. Die Beurteilung der Brauchbarkeit des Zulassungsgegenstandes erfolgt durch Vorlage von entsprechenden Prüfungsergebnissen und Berichten, nach den entsprechenden Eurocodes, Normen und Richtlinien hinsichtlich der maßgebenden Eigenschaften und des Anwendungsbereiches.
3. Soweit technische Spezifikationen bzw. Normen und Richtlinien im Typenblatt ohne Ausgabedatum angeführt werden, ist die aktuelle Ausgabe als maßgebend anzusehen.
4. Der Zulassungsinhaber ist für die Konformität des Bauproduktes mit der Zulassung verantwortlich und gewährleistet alle für das Bauprodukt zugesicherten Eigenschaften.
5. Die Zulassung bezieht sich ausschließlich auf das Bauprodukt des genannten Herstellers und Zulassungsinhabers.
6. Das BMVIT ist berechtigt, auf Kosten des Zulassungsinhabers, überprüfen zu lassen, ob die Bestimmungen dieser Zulassung und des Typenblattes eingehalten werden.
7. Die Zulassung wird widerruflich erteilt. Dies gilt besonders bei neuen technischen Erkenntnissen und Normen.
8. Das Zulassungsschreiben und das Typenblatt zur Zulassung dürfen nur vollständig wiedergegeben werden. Texte und Zeichnungen von Werbeschriften dürfen nicht in Widerspruch zu der Zulassung stehen.

II. Besondere Bestimmungen

Inhalt

1.	Allgemeines	4
2.	Bezugsnormen	4
3.	Beschreibung des Mikropfahlsystems	6
4.	Anwendungsbereich	7
5.	Baustoffe und Bauprodukte	8
5.1.	Stahltragglied Mikropfahl	8
5.2.	Muffenverbindung	9
5.3.	Pfahlkopfausbildung	9
5.4.	Verpressmörtel	10
5.5.	Anforderungen an die Tragfähigkeit des Mikropfahlsystems	10
6.	Haltbarkeit der Mikropfahlkonstruktion	12
6.1.	Korrosionsschutz	12
6.2.	Korrosionsbelastung	13
6.3.	Ausführungsformen des Mikropfahlsystems	14
6.3.1.	Mikropfähle für den Kurzzeiteinsatz, Dauerpfähle mit Berücksichtigung einer Abrostrate	14
6.3.2.	Mikropfähle als Dauerpfahl mit Standard Korrosionsschutz – SCP	15
6.3.3.	Mikropfähle als Dauerpfahl mit Korrosionsschutz durch Verrohrung nach ÖNORM EN 1537 – DCP	16
7.	Mikropfahlherstellung und Einbau	16
8.	Prüfungen	17
8.1.	Werkstoffprüfungen	17
8.2.	Statische Pfahlprobelastungen	17

Anlagen - 19 Seiten

1. Allgemeines

Die Planung, die Bemessung, die Ausführung, die Prüfung und Überwachung von Mikropfählen darf nur von Unternehmen mit entsprechenden Fachkenntnissen, Erfahrungen und einschlägig ausgebildetem Fachpersonal vorgenommen werden.

Die Verantwortlichkeiten für die Planung, die Bemessung, die Ausführung, die Prüfung und Überwachung sind für die Durchführung eines Bauprojektes vertraglich festzulegen. Über das Mikropfahlssystem, die Mikropfahlherstellung und den Einbau sind entsprechende Aufzeichnungen und Protokolle zu führen.

Bei dem vorliegenden Mikropfahlssystem handelt es sich um eine Systemzulassung bestehend aus einem Stabstahl SAS 670 mit Gewinderippung und vorgegebener Stahlgüte, einer geschraubten Muffenverbindung und einer geschraubten Endverankerung bei handfester Kontierung. Eine Schlupfminderung wird durch eine Klebung erreicht. Die angeführten Systemkomponenten sind Erzeugnisse des Stahlwerkes Annahütte.

Der Hersteller der Mikropfahlkomponenten und des Korrosionsschutzsystems hat für diese Konformität mit der Zulassung zu gewährleisten. Die Verantwortung darüber trägt der Zulassungsinhaber.

2. Bezugsnormen

ÖNORM EN 14199:2016	Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) – Pfähle mit kleinen Durchmessern (Mikropfähle)
ÖNORM EN 1990:2013	Eurocode – Grundlagen der Tragwerksplanung
ÖNORM EN 1992-1-1:2015	Eurocode 2 – Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton und Spannbetontragwerken – Teil 1 -1: Allgemeine Bemessungsregelnd und Regeln für den Hochbau
ÖNORM EN 1997-1:2014	Eurocode 7 – Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln
ÖNORM B 1997-1-1:2013	Eurocode 7 – Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln – nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 997-1 und nationale Ergänzungen
ÖNORM B 1997-1-3:2015	Eurocode 7 Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1 - 3: Pfahlgründungen
ÖNORM B 4707:2017	Bewehrungsstahl – Anforderungen, Klassifizierung und Konformitätsnachweis
ÖNORM EN 1537:2015	Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau – Verpressanker
ÖNORM EN 206:2017	Beton: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität
ÖNORM EN 445:2008	Einpressmörtel für Spannglieder – Prüfverfahren
ÖNORM EN 446:2008	Einpressmörtel für Spannglieder – Einpressverfahren
ÖNORM EN 447:2017	Einpressmörtel für Spannglieder – Anforderungen für übliche Einpressmörtel

ÖNORM EN ISO 1461:2009	Durch Feuerverzinken auf Stahl aufgebraute Zinküberzüge (Stückverzinken) – Anforderungen und Prüfungen
ÖNORM EN ISO 9001:2015	Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen
ÖNORM EN 12501-1,2:2003	Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe – Korrosionswahrscheinlichkeit in Böden Teil 1: Allgemeines Teil 2: Niedrig und unlegierte Eisenwerkstoffe
ÖNORM EN ISO 22477-5:2016	Entwurf. Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Prüfung von geotechnischen Bauwerken und Bauwerksteilen – Teil 5: Ankerprüfungen
ÖNORM EN 10277-2: 2008	Blankstahlerzeugnisse - Technische Lieferbedingungen - Teil 2: Stähle für allgemeine technische Verwendung
ÖNORM EN 10210-1: 2006	Warmgefertigte Hohlprofile für den Stahlbau aus unlegierten Baustählen und aus Feinkornbaustählen - Teil 1: Technische Lieferbedingungen
ÖNORM EN 10083-3: 2006	Vergütungsstähle - Teil 3: Technische Lieferbedingungen für legierte Stähle
ÖNORM EN 10293: 2015	Stahlguss - Stahlguss für allgemeine Anwendungen
ÖNORM EN 10025-2: 2005	Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen - Teil 2: Technische Lieferbedingungen für unlegierte Baustähle
ÖNORM EN 10216-1: 2014	Nahtlose Stahlrohre für Druckbeanspruchungen - Technische Lieferbedingungen - Teil 1: Rohre aus unlegierten Stählen mit festgelegten Eigenschaften bei Raumtemperatur
ÖNORM EN 10217-1: 2007	Geschweißte Stahlrohre für Druckbeanspruchungen - Technische Lieferbedingungen - Teil 1: Rohre aus unlegierten Stählen mit festgelegten Eigenschaften bei Raumtemperatur (konsolidierte Fassung)
ÖNORM EN ISO 17855-1: 2015	Kunststoffe - Polyethylen (PE)-Formmassen - Teil 1: Bezeichnungssystem und Basis für Spezifikationen
ISO 15835-1, 2:2009	Steels for the reinforcement of concrete – reinforcement couplers for mechanical splices of bars Part 1: Requirements Part 2: Test methods
DIN 8061: 2016	Rohre aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC-U) - Allgemeine Güteanforderungen, Prüfung;
DIN 8062: 2009	Rohre aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC-U) – Maße
DIN 8074: 2011	Rohre aus Polyethylen (PE) - PE 80, PE 100 - Maße;
DIN 8075: 2011	Rohre aus Polyethylen (PE) - PE 80, PE 100 - Allgemeine Güteanforderungen, Prüfungen;

ETAG 013:2002

Richtlinie für die europäische technische Zulassung von Spannsystemen für das Vorspannen von Tragwerken

RVS 08.22.01:2013

Verpressanker, zugbeanspruchte Verpresspfähle und Nägel

3. Beschreibung des Mikropfahlsystems

Der ANP – Mikropfahl SAS 670 verwendet als Tragglied einen rechtsgängigen durchgehend schraubbaren Stabstahl mit Gewinderippung der nachfolgenden Stahlgüte (Streckgrenze / Zugfestigkeit) und Durchmesser:

S 670 / 800 Ø 18, 22, 25, 28, 30, 35, 43, 50, 57.5, 63.5 und 75 mm

für den speziellen Anwendungsbereich in der Geotechnik.

Ausgeführt werden folgende Ausführungsformen des Mikropfahlsystems:

- **Temporäre Pfähle** für den Kurzeiteinsatz mit einer Nutzungsdauer **bis zu 2 Jahren**. Bei Erweiterung der Nutzungsdauer **bis zu 7 Jahren** wird eine Pfahlhalsverrohrung vorgesehen.
- **Dauerpfähle** unter Berücksichtigung einer Abrostrate mit einer geplanten Nutzungsdauer **bis zu 50 Jahren** in Abhängigkeit von den Bodenverhältnissen
- **Dauerpfähle** mit einer geplanten Nutzungsdauer **bis zu 100 Jahren** mit Standard Korrosionsschutz durch Zementmörtelüberdeckung (SCP) bzw. mit doppeltem Korrosionsschutz nach ÖNORM EN 1537 (DCP).

Der Mikropfahl wird in ein vorgebohrtes Bohrloch zentriert eingebracht und anschließend mit Zementmörtel verpresst.

Der Pfahlkopf wird wahlweise mit einer durch Muttern (Ankermutter / Kontermutter) handfest gekonterten quadratischen Pfahlkopfplatte oder einem handfest gekonterten zylindrischen Ankerstück aufgebaut. Eine zusätzliche Klebung ist ebenfalls vorgesehen. Handfest bedeutet händisch gekontert mittels Drehmomentschlüssel gemäß den Kontermomenten in **Anlage 6**.

Eine Kopplung der Stäbe ist mittels handfest gekonterter bzw. zusätzlich geklebter Gewindemuffe möglich.

Die Mikropfähle können bei erhöhten Anforderungen an die Nutzungsdauer auch in feuerverzinkter Ausführung geliefert werden. Freiliegende Zubehöerteile sind ebenfalls verzinkt.

Das Typenblatt ist für den Geltungsbereich der Republik Österreich, Bundesstraßen aufgebaut. Bei anderweitigem Einsatz sind die am Ort der Verwendung geltenden Normen und Vorschriften einzuhalten, in dem das Bauwerk ausgeführt wird.

Detailangaben über die Mikropfahlsysteme enthalten die folgenden Anlagen:

- | | |
|-----------|---|
| Anlage 1: | Systemzeichnung: Kurzzeitpfahl für den Kurzeiteinsatz, Pfahlkopfplatte und Muffenverbindung |
| Anlage 2: | Systemzeichnung: Dauerpfahl mit Abrostung, Pfahlkopfplatte und Muffenverbindung |
| Anlage 3 | Systemzeichnung: Dauerpfahl mit SCP Standard-Korrosionsschutz durch Zementmörtelüberdeckung, Pfahlkopfplatte und Muffenverbindung |

- Anlage 4: Systemzeichnung: Dauerpfahl mit DCP durch Verrohrung nach ÖNORM EN 1537, Pfahlkopfplatte und Muffenverbindung
- Anlage 5: Systemzeichnung: Pfahlkopfvarianten mit Ankerstück und Verbundvorlänge
- Anlage 6: Mikropfahlsystem: Achs- und Randabstände, Zusatzbewehrung, Schlupfwerten, Kontermomenten
- Anlage 7 und 8: Spezifikation, Geometrie, Nennmaße, Nenngewichte, Festigkeitseigenschaften
- Anlage 9: Bemessungswert des Grenzzustandes der Tragfähigkeit und zulässige Prüfkkräfte gemäß ÖNORM B 1997-1-1 und Tragkraftverlust durch Abrossten
- Anlage 10 : Zubehörteile: Anker Mutter, Anker Mutter – Guss und Pfahlkopfplatte
- Anlage 11: Zubehörteile: Kontermutter kurz, Kontermutter kurz – Guss und Ankerstück
- Anlage 12: Zubehörteile: Muffe und Kontaktmuffe, Korrosionsschutz: Federkorbdistanzhalter
- Anlage 13: Korrosionsschutz: Schrumpfschlauch, Ripprohr und innere Abstandhalter
- Anlage 14: Korrosionsschutz: Injizier- und Endkappe, Pfahlhalsverrohrung und Klebesystem MABOND
- Anlage 15 bis 16: Klebesystem MABOND, Einbauanleitung Muffenverbindung
- Anlage 17: Klebesystem MABOND, Einbauanleitung Endverankerung
- Anlage 18: Herstellung: Aufbau des werkseitigen Korrosionsschutzes
- Anlage 19: Herstellung: Transport und Lagerung, Einbau

4. Anwendungsbereich

Pfahlgründungen dienen zur Übertragung von Bauwerkslasten auf tiefer liegende Bodenschichten des Baugrundes und / oder zur Begrenzung von Verformungen nach den Grundsätzen über die Ausführung von geotechnischen Arbeiten. Die Beanspruchung des Mikropfahles ist dabei planmäßig nur durch eine axiale Belastung auf Zug, Druck oder unter Wechsellast vorgesehen.

Das Anwendungsgebiet des Mikropfahles umfasst folgende Bereiche:

- Gründung von Tragwerken
- Bewehrung / Verstärkung bestehender Tragwerke
- Herstellung von Stützwänden aus Mikropfählen
- Baugrundbewehrung zur Herstellung von Trag- und Stützkörpern
- Sicherung gegen Aufschwimmen

Das Mikropfahlsystem ist in bindigen und rolligen Böden, im Lockergestein und im Felsgestein anwendbar.

Die Grundsätze für die Bauausführung sind in ÖNORM EN 14199 festgelegt und umfassen Angaben über die Ausführung von Pfahlgründungen, Baugrunduntersuchungen, Baustoffe und

Bauprodukte, Bemessungsaspekte sowie Hinweise über die Ausführung von Mikropfählen samt Prüfung und Überwachung. In den Anhängen dieser Norm werden informative Angaben über die Ausführung der Mikropfähle, Grundlagen der Konstruktion und die Prüfung von Mikropfahlsystemen angeführt.

Die Prinzipien und Anforderungen an die Tragwerksplanung von Bauwerken sind in ÖNORM EN 1990 angeführt. Grundlagen zur Bemessung in der Geotechnik enthält ÖNORM EN 1997-1 und gibt Regeln zur Ermittlung der äußeren Tragfähigkeit eines Mikropfahls in Bezug auf die Einwirkungen aus dem Baugrund an. Für die maßgebenden Parameter sind beim Zugpfahl ÖNORM B 1997-1-1 und beim Druckpfahl ÖNORM B 1997-1-3 anzuwenden.

Die Bemessungsgrößen des Mikropfahlsystems für den Grenzzustand der inneren Tragfähigkeit werden in ÖNORM B 1997-1-1 definiert. Die Tragfähigkeit von auf Zug und unter Wechsellast beanspruchten Pfählen wird darin in Abhängigkeit von Schadensfolgekassen angegeben.

Die ÖNORM B 1997-1-3 legt die Bemessungsgrößen von auf Druck beanspruchten Pfählen fest. Zusätzlich fordert die Norm einen Nachweis gegen das Anheben des an einen Zugpfahl hängenden Betonkörpers (Aufschwimmen).

Auf die Einhaltung der folgenden Nachweise / Grundsätze wird besonders hingewiesen:

- Der Mikropfahl ist so auszubilden, dass die Tragfähigkeit in seiner Wirkungsweise als Einzelelement gewährleistet ist. Der Mikropfahl ist dabei nur für die axiale Belastung auf Zug, Druck oder unter Wechsellast einzusetzen.
- Trotz der Wirkung des Mikropfahls als Einzeltragglied ist bei einer Pfahlgründung eine redundante Konstruktion anzustreben.
- Bei Böden, die ein seitliches Auslenken des Pfahles erlauben, ist die Frage der Knicksicherheit entweder rechnerisch oder durch eine statische Probelastung abzuklären. Beim rechnerischen Nachweis bleibt der Verpresskörper unberücksichtigt.
- Der Fundamentkörper ist in Bezug auf die Lasteinleitung in den Pfahlkopf zu bemessen (Zusatzbewehrung, Durchstanzen).

5. Baustoffe und Bauprodukte

5.1. Stahltragglied Mikropfahl

Als Tragglied für das ANP – Mikropfahlsystem SAS 670 wird ein aus der Walzhitze wärmebehandelter Stabstahl mit rechtsgängigen Gewinderippen und folgender Stahlgüte (Streckgrenze / Zugfestigkeit) und den Durchmessern verwendet:

S 670 / 800 Ø 18, 22, 25, 28, 30, 35, 43, 50, 57.5, 63.5 und 75 mm

Durch die Gewinderippen des Stabstahles werden die Anforderungen an die Verbundwirkung in der Pfahllänge des Traggliedes erfüllt.

Die Geometrie und Werkstoffkenngrößen des Stabstahles sind in den **Anlagen 7 und 8** zusammengestellt.

Für erhöhte Anforderungen an die Nutzungsdauer des Pfahls wird eine Oberflächenbeschichtung des ANP – Mikropfahlsystems SAS 670 durch Feuerverzinken nach den Anforderungen von ÖNORM EN ISO 1461 durchgeführt. Die mittlere Dicke der Zinkschicht beträgt dabei mindestens 85 µm.

5.2. Muffenverbindung

Das Stahltragglied kann über eine Muffe gekoppelt werden. Die Muffe ist durch ein Verschrauben der Stäbe bei Zug- und Druckpfählen gegeneinander handfest zu kontern.

Eine Verringerung der Schlupfwerte wird unter Verwendung des SAS Klebesystems MABOND erzielt. Bei Wechselbeanspruchung ist die Muffenverbindung zwecks Verdrehsicherung stets zusätzlich zu kleben. Bei Zugbeanspruchung ist ebenfalls zusätzlich eine Sicherung gegen Herausdrehen vorzusehen. Dies kann durch Klebung bei gleichzeitiger Schlupfabminderung oder mittels Schrumpfschlauch erfolgen.

Angaben zum Kontermoment enthält **Anlage 6**. Die wesentlichen Systemgrößen der Muffe sind in **Anlage 12** dargestellt.

Angaben und Einbauanleitungen für das Klebesystem an einer Muffenverbindung und Endverankerung mit DCP sind in den **Anlagen 15 bis 17** angegeben. Die gleiche Vorgehensweise gilt auch für Dauerpfähle mit Abrostrate und Pfähle mit SCP.

5.3. Pfahlkopfausbildung

Der Pfahlkopf besteht aus einer durch Muttern (Ankermutter und Kontermutter) handfest gekonterten quadratischen Pfahlkopfplatte oder einem mit Kontermutter handfest gekonterten zylindrischen Ankerstück ohne und mit Spaltzugbewehrung. Eine zusätzliche Klebung unter Verwendung des SAS Klebesystems MABOND ist zur Schlupfabminderung vorgesehen.

Angaben zum Kontermoment enthält **Anlage 6**, Angaben und Einbauanleitungen zum Klebesystem die **Anlagen 15 bis 17**.

Die Pfahlplatten sind senkrecht zur Achse des Gewindestabes anzuordnen. Bei Verwendung des Ankerstückes ist eine Verbundvorlänge nach **Anlage 5** einzuhalten.

Angaben zu den wesentlichen Systemgrößen der Zubehörteile der Komponenten des Pfahlkopfes und der Werkstoffe enthalten die **Anlagen 10 bis 12**.

Systemskizzen zu den Varianten der Ausbildung des Pfahlkopfes sind in den **Anlagen 1 bis 5** dargestellt.

Der Pfahlanschluss im Fundamentkörper erfordert eine Pfahlhalsverrohrung aus einem Kunststoffrohr oder Stahlrohr zur Überbrückung einer möglichen Arbeitsfuge in Hinblick auf den Korrosionsschutz bzw. zur Aufnahme des Querdruckes.

Ausbildung der Pfahlhalsverrohrung:

Beanspruchung des Mikropfahls ¹⁾	Ausbildung der Pfahlhalsverrohrung					
	Arbeitsfuge ohne Kraftschluss			Arbeitsfuge mit Kraftschluss ²⁾		
	Kurzzeitpfahl	Dauerpfahl mit Abrostung / SCP	DCP	Kurzzeitpfahl ^{4) 5)}	Dauerpfahl mit Abrostung / SCP	DCP
Zuglast	Kunststoffrohr ³⁾	Kunststoffrohr ³⁾	-	-	Kunststoffrohr ³⁾	-
Drucklast	Stahlrohr ³⁾	Stahlrohr ³⁾	-	-	Kunststoffrohr ³⁾	-
Wechselast	Stahlrohr ³⁾	Stahlrohr ³⁾	-	-	Kunststoffrohr ³⁾	-

- ¹⁾ Wenn Pfähle einer Probelastung auf Druck unterzogen und danach als Bauwerkspfähle weiter verwendet werden, ist ein Pfahlhalschutzrohr aus Stahl anzuordnen.
- ²⁾ Form- und Kraftschlüssige Arbeitsfuge zwischen Verpressmörtel und Bauwerksbeton ist vorhanden. Dazu sind vor dem Betonieren Verunreinigungen, Zementschlempen und loser Zementmörtel zu entfernen und der Zementmörtel der Pfähle vorzunässen.
- ³⁾ Einbindung des Pfahlhalschutzrohres mit mindestens 100 mm in den Fundamentkörper.
- ⁴⁾ Beim Kurzzeitpfahl mit Kraftschluss in der Arbeitsfuge ist keine Pfahlhalsverrohrung erforderlich.
- ⁵⁾ Für eine Nutzungsdauer bis zu 7 Jahren ist bei Zug ein Kunststoffrohr und bei Druck- und Wechselast ein Stahlrohr anzuordnen.

5.4. Verpressmörtel

Alle eingebauten Mikropfähle ohne und mit Korrosionsschutzumhüllung weisen eine äußere Zementmörtelüberdeckung von 20 mm (mindestens 15 mm) zur Bohrlochwand auf. Eine Zentrierung erfolgt durch Abstandhalter. Die Zementmörtelüberdeckung beim Dauerpfahl mit Standard Korrosionsschutz (SCP) beträgt mindestens 25 bis 45 mm.

Für den Aufbau des Verpresskörpers wird ein Verpressmörtel nach den Anforderungen der ÖNORM EN 14199 verwendet. Der Wasserzementwert ist dabei den Baustellenbedingungen anzupassen. Alternativ kann ein Zementmörtel nach ÖNORM EN 455, ÖNORM EN 446 und ÖNORM EN 447 eingesetzt werden.

Bei der Auswahl des Zementes für den Verpresskörper, der in Berührung mit dem Baugrund steht, sind die Einwirkungen der Bodenbedingungen nach den Expositionsklassen gemäß ÖNORM EN 206 zu berücksichtigen.

Der Korrosionsschutz des Dauerpfahles mit doppeltem Korrosionsschutz (DCP) wird mit einem PE-Ripprohr über seine gesamte Länge aufgebaut und weist eine innere Zementmörtelschicht zwischen PE-Ripprohr und Stab von mindestens 5 mm auf. Der Stab wird im Ripprohr durch eine PE-Schnur bzw. durch Abstandhalter zentriert. Der verwendete Zementmörtel entspricht den Normen ÖNORM EN 445, ÖNORM EN 446 und ÖNORM EN 447.

5.5. Anforderungen an die Tragfähigkeit des Mikropfahlsystems

Die folgenden Größen sind einzuhalten:

- Die Konstruktion und Bemessung des ANP – Mikropfahlsystems SAS 670 haben nach ÖNORM EN 14199 sowie den entsprechenden Eurocodes samt den zugehörigen nationalen Anhängen zu erfolgen.

- Die Zugtragfähigkeit des Mikropfahls, bestehend aus den Systemkomponenten Tragglied, Muffenverbindung und Pfahlkopf, weist in Bezug auf die charakteristische Bruchkraft des Traggliedes einen Wirkungsgrad von 100 % auf. Die entsprechenden charakteristischen Bruchkräfte sind der **Anlage 9** zu entnehmen.
- Das Versagen des Systems erfolgt duktil und darf durch den Bruch einer Komponente oder durch Ausziehen des Traggliedes aus der Mutter, Muffe oder Verankerung erfolgen.
- Der Bemessungswert des Grenzzustandes der inneren Tragfähigkeit des Pfahls ist nach ÖNORM EN 1992-1-1 mit einem Teilsicherheitsbeiwert von 1,15 gegen Erreichen der Kraft an der 0,2% Dehngrenze $F_{p0,2}$ anzusetzen. Die entsprechenden Werte sind in **Anlage 9** angeführt und gelten für den Zug-, Druck- und Wechselfahl. Für den Zug- und Wechselfahl sind die nationalen Festlegungen nach ÖNORM B 1997-1-1 und für den Druckpfahl jene nach ÖNORM B 1997-1-3 anzuwenden.
- Für die Bemessung des Grenzzustandes der äußeren Tragfähigkeit des Pfahls ist nach ÖNORM EN 1990 vorzugehen. Die Bodeneigenschaften sind dabei nach ÖNORM EN 1997-1 zu bestimmen.
- Die Bemessungswerte für die innere Tragfähigkeit des Mikropfahles als Zug- und Wechselfahl sind nach den Schadensfolgeklassen CC1, CC2 und CC3 gemäß ÖNORM B1997-1-1 in **Anlage 9** zusammengestellt.
- Bei 0,65 der Kraft an der 0.2% Dehngrenze $F_{p0,2}$, was dem Bereich der Gebrauchstauglichkeit entspricht, wurden folgende maximale Schlupfwerte an der handfest gekonterten Muffenverbindung nach den Bedingungen der ISO 15835-1,2 nachgewiesen:
 - Schlupf ohne Klebung: 0,4 bis 2,9 mm
 - Schlupf mit Klebung: 0,1 bis 0,4 mm

Die Länge der Mutter der Endverankerung entspricht etwa der halben Muffenlänge, so dass nur der halbe Muffenschlupf an der Endverankerung zu erwarten ist. Die dabei verwendete Kontermutter dient hauptsächlich zur Halterung der Pfahlkopfplatte.

Die Schlupfwerte für die Muffenverbindung und Endverankerung sind in **Anlage 6** mit Angabe des Kontermomentes zusammengestellt.

Bei Mikropfählen unter Wechsellast kann eine Vergrößerung der Schlupfwerte eintreten.

Die Prüfungen am Mikropfahlssystem sind dabei nach ETAG 013 bzw. nach ISO 15835-1,2 durchgeführt worden.

- Die nach den Bedingungen der ISO 15835-1,2 nachgewiesene Dauerschwingfestigkeit des Mikropfahlsystems beträgt:

Ø 18 bis 43 mm:	60 N/mm ²
Ø 50 bis 63,5 mm:	40 N/mm ²
Ø 75 mm:	30 N/mm ²
- Das Verhalten unter Erdbebenlasten ist nicht nachgewiesen worden.
- Die Mindestwerte der Achs- und Randabstände des Mikropfahles sind in **Anlage 6** ohne und mit Zusatzbewehrung (Spaltzugbewehrung) angegeben.

Die angegebenen Achs- und Randabstände wurden nach den Anforderungen gemäß ETAG 013 für eine Mindestbetongüte des Fundamentkörpers \geq C 20/25 nach

ÖNORM EN 206 bei einer Betondruckfestigkeit $\geq 25 \text{ N/mm}^2$ zum Zeitpunkt der Lastübertragung nachgewiesen. Die konstruktive Bewehrung des Systems hat $\geq 50 \text{ kg je m}^3$ Beton zu betragen:

- Beim System mit Zusatzbewehrung (Spaltzugbewehrung) beträgt der Wirkungsgrad 110 % in Bezug auf den Nennwert der Höchstkraft des Traggliedes. Die Zusatzbewehrung ist in **Anlage 6** ebenfalls angeführt.
 - Beim System ohne Zusatzbewehrung (Spaltzugbewehrung) beträgt der Wirkungsgrad 130 % in Bezug auf den Nennwert der Höchstkraft des Traggliedes. Die Achs- und Randabstände sind dabei um etwa 50% höher als beim bewehrten System.
- Der Anschluss des Mikropfahles an das Tragwerk ist in Bezug auf die Lasteinleitung in den Pfahlkopf nach der Tragfähigkeit des Mikropfahles gemäß ÖNORM EN 1992-1-1 zu bemessen.
 - In den **Anlagen 1 bis 5** ist neben den Systemzeichnungen des Mikropfahles auch die einbetonierte Kopfausbildung mit Spaltzugbewehrung unter Berücksichtigung der Beanspruchungsart dargestellt. Die Anforderungen an eine erforderliche Pfahlhalsverrohrung sind dabei zu beachten.
 - Bei einem Verpressmörtel mit einer Zylinderdruckfestigkeit $f_{cm} \geq 40 \text{ N/mm}^2$ ist eine charakteristische Verbundspannung von 6 N/mm^2 anzusetzen.
 - Wird eine Abrostrate für Korrosion vorgesehen, dann ist der prozentuelle Querschnittsverlust beim Nachweis der Tragfähigkeit zu berücksichtigen und danach der Bemessungswert des Materialwiderstandes festzulegen. **Anlage 9** enthält diesbezügliche Werte.
 - Die Prüfung von Mikropfählen hat als statische Pfahlprobebelastung zu erfolgen. Dabei dürfen die in **Anlage 9** nach ÖNORM B 1997-1-1 angegebenen maximalen Prüfkräfte nicht überschritten werden.

Bei auf Zug beanspruchten Pfählen sind 3 % der vorgesehenen Anzahl der Pfähle zu prüfen, mindestens aber 3 Pfähle. Die Prüflast ergibt sich aus dem Bemessungswert der äußeren Zugtragfähigkeit des Mikropfahles und dem Teilsicherheitsbeiwert für den Widerstand gegen Herausziehen nach den Schadensfolgeklassen CC1, CC2 und CC3 samt Berücksichtigung eines Streuungsfaktors für alle Bemessungssituationen gemäß ÖNORM B 1997-1-1.

Bei auf Druck beanspruchten Pfählen ist der äußere Tragwiderstand aus den charakteristischen Werten des Pfahlwiderstandes und des Widerstandes der Mantelreibung nach ÖNORM B 1997-1-3 zu ermitteln. Die Streuungsfaktoren nach ÖNORM B 1997-1-1 sind dabei zu berücksichtigen.

- Bei reinen Druckpfählen ist der Mikropfahl vorzugsweise einer statischen Probebelastung auf Druck zu unterziehen.

6. Haltbarkeit der Mikropfahlkonstruktion

6.1. Korrosionsschutz

Das vorliegende Mikropfahlsystem bedient sich der folgenden Methoden für das Erreichen der vorgesehenen Nutzungsdauer:

- Für den Kurzzeiteinsatz bis zu 2 Jahren und einer Arbeitsfuge mit Form- und Kraftschluss bedarf es keiner weiteren Korrosionsschutzmaßnahmen. Bei einer Arbeitsfuge ohne Kraftschluss ist eine Pfahlhalsverrohrung in Hinblick auf den Korrosionsschutz bzw. zur Aufnahme des Querdruckes anzuordnen. Für eine Erhöhung der Nutzungsdauer bis zu 7 Jahren ist stets eine Pfahlhalsverrohrung anzuordnen.
- Berücksichtigung einer Abrostrate für Korrosion in Abhängigkeit von den Bodenverhältnissen bei einer begrenzten Nutzungsdauer bis zu 50 Jahren für einen Einsatz als Dauerpfahl. Die Einkapselung des Traggliedes durch einen Verpressmörtel mit einer Zementmörtelüberdeckung von 20mm (mindestens 15mm) bleibt dabei unberücksichtigt.
- Oberflächenbeschichtung durch Feuerverzinken mit einer Zinkschichtdicke $\geq 150\mu\text{m}$
- Systembedingte Einkapselung durch Ausbildung eines Verpresskörpers (Standard Korrosionsschutz – SCP) für den Einsatz als Dauerpfahl für eine Nutzungsdauer bis zu 100 Jahren bei einer vorgegebenen Mindestüberdeckung von 25 bis 45mm. Beim Druck- und Wechselfahl ist zur Aufnahme des Querdruckes über die Pfahlänge eine Mindestüberdeckung von ≥ 0.8 Stahltraglieddurchmesser einzuhalten.
- Verrohrung (Dauerkorrosionsschutz – DCP mit Verrohrung nach ÖNORM EN 1537) für den Einsatz als Dauerpfahl für eine Nutzungsdauer bis zu 100 Jahren.

Weitere Anforderungen bezüglich des Korrosionsschutzes sind beim Dauerpfahl mit Abrostung, bzw. beim Dauerpfahl mit Standard-Korrosionsschutz SCP aus einer kritischen Bewertung des Bauwerkes und aus den Umgebungsbedingungen abzuleiten.

Insbesondere ist sicherzustellen, dass auch bei einem frühzeitigen Versagen einzelner Elemente die Tragfähigkeit der Pfahlgründung gewährleistet bleibt. Der Korrosionsschutz durch Abrosten ist nur bei einer statistisch abgesicherten Anzahl von Sicherungselementen (redundantes System) anzuwenden.

6.2. Korrosionsbelastung

Zur Beurteilung der Korrosionsbelastung metallischer Werkstoffe in Böden ist nach ÖNORM EN 125012-1,2 vorzugehen. Die Korrosionsbelastung wird eingestuft in:

- niedrig
- mittel
- hoch

Die wichtigsten physikalischen und chemischen Parameter der Böden und Bettungsmaterialien werden in ÖNORM EN 12501-2 behandelt. Der Anhang B der Norm enthält detaillierte Angaben zur Datensammlung für eine Bodeneinstufung.

Eine Beurteilung der unterschiedlichen Korrosionsbelastungen wird durch eine informative Aufstellung der wesentlichen Bodenparameter vorgenommen. Diese stellen die Grundlage für die Größenangabe der jeweiligen Abrostrate des Mikropfahles durch Korrosion dar.

Kriterien zur Beurteilung der Korrosionsbelastung in Böden:

Bodenparameter	Korrosionsbelastung in Böden		
	niedrig	mittel	hoch
Belüftung	mäßig bis sehr gut	schlecht bis mäßig gut	sehr schlecht bis schlecht
Bodenaufbau	überwiegend Sand, Kies, gebräuchiger Fels (grob- bis mitteldispers)	hohe Anteile an Schluff, Feinsand (mittel- bis feinsdispers)	unter Umständen Anteile organischer Substanzen; hohe Anteile an Ton (feindispers), Industrieabfälle, Tausalz
Wassergehalt	niedrig (drainagefähig)	im Allgemeinen mittel (feucht)	im Allgemeinen hoch, Wasserwechselzonen
Neutralsalzgehalte	gering	möglicherweise erhöht	möglicherweise hoch
pH-Werte	5 bis 8	5 bis 8	5 bis 8
spezifischer Bodenwiderstand in Ωm	> 70	10 bis 70	< 10

Bei pH-Werten < 5 und > 8 wird die Korrosionsbelastung in die nächst höhere Klasse verschoben:

- niedrig ⇒ mittel
- mittel ⇒ hoch
- hoch ⇒ eingeschränkte Nutzungsdauer ⇒ Korrosionsschutzverrohrung

6.3. Ausführungsformen des Mikropfahlsystems

6.3.1. Mikropfähle für den Kurzzeiteinsatz, Dauerpfähle mit Berücksichtigung einer Abrostrate

Die **Anlage 1** enthält eine Schemazeichnung für den Kurzzeitpfahl. Der Mikropfahl ist im Bohrloch zu zentrieren. Für den Kurzzeiteinsatz sind bei form- und kraftschlüssiger Arbeitsfuge keine weiteren Maßnahmen hinsichtlich des Korrosionsschutzes vorgesehen. Bei fehlendem Kraftschluss ist eine Pfahlhalsverrohrung anzuordnen. Bei hoher Korrosionsbelastung wird durch Einhaltung einer Zementmörtelüberdeckung von 20mm (mindestens 15mm) das Abrosten verzögert.

Für eine Erhöhung der Nutzungsdauer bis zu 7 Jahren ist ein Pfahlhalschutzrohr bei fehlendem Kraftschluss anzuordnen.

Die **Anlage 2** enthält eine Schemazeichnung für den Dauerpfahl mit Abrostung. Der Pfahlanschluss im Fundamentkörper erfolgt stets über eine Pfahlhalsverrohrung.

Die geplante Nutzungsdauer und die Korrosionsbelastung des Bodens bestimmen die Größe der Abrostrate. Die systembedingte Einkapselung erfolgt durch Ausbildung eines Verpresskörpers mit 20mm (mindestens 15mm) Zementmörtelüberdeckung und bleibt als Korrosionsschutz unberücksichtigt.

Die Muffe ist bei Wechselbeanspruchung zusätzlich zur handfesten Konterung zu verkleben. Bei Druckbeanspruchung kann wahlweise eine Kontaktmuffe verwendet werden.

Nachfolgend werden Richtwerte für die Abrostrate des Mikropfahles in Böden nach Ergebnissen von Langzeitlagerungen abgeleitet. Dabei wird die Abrostrate für eine niedrige, mittlere und ho-

he Korrosionsbelastung und eine Nutzungsdauer von 2, 7, 30 und 50 Jahren angegeben. Die Rundungsgröße beträgt etwa 0,1 mm.

Angeführt werden Abrostraten für blanken und verzinkten Stahl und mit einer Abrostung $\leq 1,0\text{mm}$ begrenzt. Die Zementmörtelüberdeckung des Verpresskörpers als Korrosionsschutz bleibt unberücksichtigt, verzögert aber die Abrostung.

Richtwerte für die Abrostrate:

Nutzungsdauer in Jahren	Pfahl Typ	Abrostrate in mm bei einer Korrosionsbelastung		
		niedrig	mittel	hoch
2	A	0	0	0,2
	B	0	0	0
7	A	0,2	0,2	0,5
	B	0	0	0,4
30	A	0,4	0,6	DCP
	B	0	0,2	
50	A	0,5	1,0	
	B	0,2 oder DCP	0,5 oder DCP	DCP

- A blanker Stahl
- B verzinkter Stahl, Zinkschichtdicke $\geq 150\mu\text{m}$
- DCP doppelter Korrosionsschutz durch Verrohrung nach ÖNORM EN 1537

Die Nutzungsdauer kann angehoben werden wenn ein höherer Verlust an Querschnittsfläche angesetzt wird. Die Tragfähigkeit des Pfahles nimmt dabei aber ab.

Die **Anlage 9** enthält Angaben zu dem Tragkraftverlust des Mikropfahles infolge Abrosten. Damit wird auch das Abrosten an der Verbindungsmuffe abgedeckt. Ein gesonderter Nachweis ist dazu nicht erforderlich.

6.3.2. Mikropfähle als Dauerpfahl mit Standard Korrosionsschutz – SCP

Die **Anlage 3** enthält eine Schemazeichnung des Dauerpfahles mit Standard Korrosionsschutz. Der Pfahlhalsbereich ist stets mit einer Pfahlhalsverrohrung auszubilden. Für die Ausbildung der Muffenverbindung gelten die bereits angeführten Festlegungen.

Der Korrosionsschutz des Dauerpfahles wird durch Einkapselung in einen Verpresskörper mit ausreichender Zementmörtelüberdeckung erreicht. Der Mikropfahl wird dabei in ein vorgebohrtes Bohrloch zentriert eingebracht. Die Bohrung erfolgt verrohrt, außer es liegt ein standfester Untergrund vor. In Abhängigkeit von den Bodenklassen wird auf der Grundlage einschlägiger europäischer geotechnischer Normen eine erforderliche Zementmörtelüberdeckung festgelegt. Die Rissbreiten unter Zugbeanspruchung sind dabei mit $\leq 0,2\text{mm}$ begrenzt, wenn die Zugbeanspruchung des Pfahles $480\text{N}/\text{mm}^2$ nicht übersteigt. Dieser Wert entspricht 72% des Nennwertes der Kraft an der 0.2% Dehngrenze $F_{p0,2}$ des Traggliedes.

Bei Mikropfählen mit Muffenverbindung ist die erforderliche Mindestüberdeckung auf den Außendurchmesser der Muffe anzuwenden. Wird die Überdeckung auf das Tragglied bezogen, dann ist die Muffenverbindung durch einen Schrumpfschlauch abzudecken. Die Mindestüberdeckung an der Muffe mit Schrumpfschlauch beträgt 10 mm.

Die Sicherstellung der erforderlichen Zementmörtelüberdeckung erfolgt durch Anordnung von Abstandhaltern im Abstand von $\leq 3,0\text{ m}$.

Richtwertangabe für die erforderliche Mindestüberdeckung:

Korrosionsbelastung in Böden	Zementmörtelüberdeckung in mm	
	Druck ¹⁾	Zug Wechselast ¹⁾
niedrig	25	35
mittel	30	40
hoch	35 ²⁾	45 ²⁾

- 1) Bei Druck und Wechselast ist eine kleinste Zementmörtelüberdeckung von $\geq 0,8 \varnothing$ zur Aufnahme des Querdruckes über die Pfahllänge einzuhalten
- 2) Korrosionsschutz DCP nach ÖNORM EN 1537 empfohlen

6.3.3. Mikropfähle als Dauerpfahl mit Korrosionsschutz durch Verrohrung nach ÖNORM EN 1537 – DCP

Die **Anlage 4** enthält eine Schemazeichnung des Dauerpfahles mit Dauerkorrosionsschutz nach ÖNORM EN 1537. Die wesentlichen Korrosionsschutzkomponenten sind:

- Pfahlschaft:** Durchgehendes Ripprohr mit einer Wanddicke $\geq 1,0$ mm mit einer inneren Zementmörtelschicht ≥ 5 mm gegen das Stahltragglied.
 Äußere Zementmörtelüberdeckung ≥ 10 mm gegen die Bohrlochwand.
 Das erdseitige Pfahlende ist durch eine Kunststoffkappe abgeschlossen.
- Muffenverbindung:** Die Muffe wird durch einen Schrumpfschlauch abgedeckt. Bei Druckbeanspruchung kann alternativ eine Kontaktmuffe verwendet werden. Bei Wechselbeanspruchung ist die Muffe zusätzlich zu verkleben.
- Pfahlhals:** Der Stab wird gegen das Ripprohr über eine End- oder Injizierkappe mittels Klebeband abgedichtet. Das Ripprohr des Pfahlschaftes wird mit 100mm Länge bis in den Fundamentkörper geführt.
- Pfahlkopf:** Der nach der Beanspruchungsart ausgebildete Pfahlkopf ist im Fundamentkörper verankert.
 Der Pfahlkopf besteht aus einer quadratischen Pfahlplatte zwischen Anker Mutter und Kontermutter. Bei Wechselbeanspruchung werden zwei Anker Mütter verwendet. Eine Schlupfabminderung wird durch eine zusätzliche Klebung erreicht.
 Alternativ ist die Verwendung eines Ankerstückes mit Kontermutter und einer Verbundvorlänge nach **Anlage 5** vorgesehen. Die Verbundvorlänge entspricht dem 10fachen Stabdurchmesser. Das Ankerstück ist mit der Dimension 63,5mm begrenzt.

7. Mikropfahlerstellung und Einbau

Für den Einbau des ANP – Mikropfahlsystems SAS 670 sind die Vorgaben der RVS 08.22.01 einzuhalten. Hingewiesen wird darin als Voraussetzung zur Durchführung einer Pfahlgründung auf einen rechtzeitigen Nachweis der Eignung des Mikropfahlsystems. Die Ausführung der Arbeiten, die Führung von Aufzeichnungen und die Durchführung von Prüfungen sind nach den jeweiligen Ausführungs- bzw. Prüfnormen vorzunehmen.

Unter Verweis auf ÖNORM B 1997-1-1 gilt für den Geltungsbereich Bundesstraßen die Eignung des Mikropfahlsystems durch eine Zulassung des BMVIT als nachgewiesen.

Eine Anleitung für die werksseitige Herstellung des Korrosionsschutzes des Mikropfahlsystems, die Handhabung und den Einbau ist in den **Anlagen 19 bis 20** beschrieben.

Der Zusammenbau und Einbau des ANP – Mikropfahlsystems SAS 670 darf nur unter Einhaltung der angeführten Einbauanweisung mit einem nachweislich (personenbezogene Bestätigung) vom Zulassungshersteller geschulten Personal der Einbaufirma erfolgen.

8. Prüfungen

8.1. Werkstoffprüfungen

Die Überwachung der Produktion des Stahltraggliedes und der Schraubkomponenten hat nach einem festgelegten Prüfplan zu erfolgen und fällt in den Zuständigkeitsbereich des Herstellers.

Eine Dokumentation der durchgeführten Prüfungen und Überwachungen über die angeführten Komponenten ist beim Hersteller des ANP – Mikropfahlsystems SAS 670 zu hinterlegen.

Der Hersteller des ANP – Mikropfahls SAS 670 hat eine nach ÖNORM EN ISO 9001 geregelte werkseigene Produktionskontrolle unter Bezug auf die pfahlspezifischen Komponenten durchzuführen. Diese bezieht sich auf:

- die Mikropfahlkomponenten und
- das Korrosionsschutzsystem

Die Inspektion ist durch eine akkreditierte Prüf- und Überwachungsstelle auf der Grundlage eines Überwachungsvertrages durchzuführen, in dem der Umfang der Inspektion und der werkeigenen Produktionskontrolle festgelegt ist. Diese bezieht sich auf das Stahltragglied, die Schraubkomponenten und das Korrosionsschutzsystem.

Der Überwachungsvertrag ist zwischen dem Zulassungsinhaber und der fremdüberwachenden Stelle abzuschließen. Die Inspektion ist mindestens einmal jährlich durchzuführen und bezieht sich auf eine Überprüfung der werkseigenen Produktionskontrolle sowie auf eine Durchführung von Stichprobenprüfungen an den Mikropfahlkomponenten und am Korrosionsschutzsystem. Über die Ergebnisse ist ein Bericht auszufertigen.

8.2. Statische Pfahlprobelastungen

Auf der Baustelle sind statische Mikropfahlversuche nach den Anforderungen von ÖNORM EN 14199 durchzuführen und zu dokumentieren. Die statische Probelastung von Mikropfählen unter Zugbeanspruchung wird in ÖNORM B 1997-1-1 als Eignungsprüfung festgelegt.

Die Prüfungen sind dabei nach ÖNORM EN ISO 22477-5 (Entwurf) durchzuführen. Bei reinen Druckpfählen ist nach Möglichkeit eine statische Probelastung auf Druck vorzunehmen.



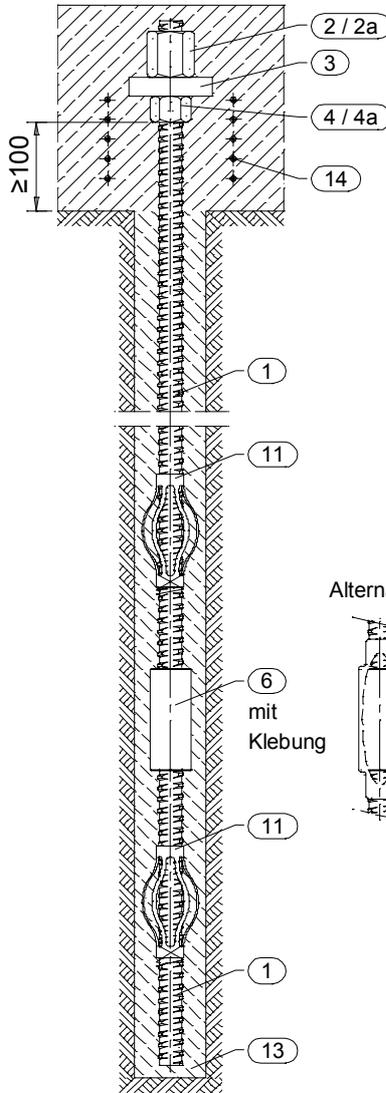
ANP – SYSTEMS GmbH

ANP – Mikropfahl SAS 670

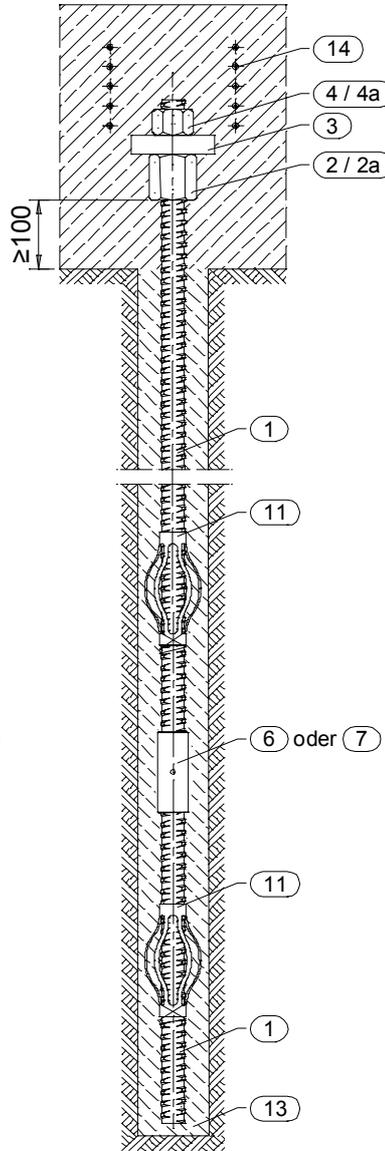
Betonstahl SAS 670 Ø 18 – 75 mm mit Gewinderippen
Systemzeichnung: Kurzzeitpfahl, Pfahlkopfplatte und Muffenverbindung

Anlage 1

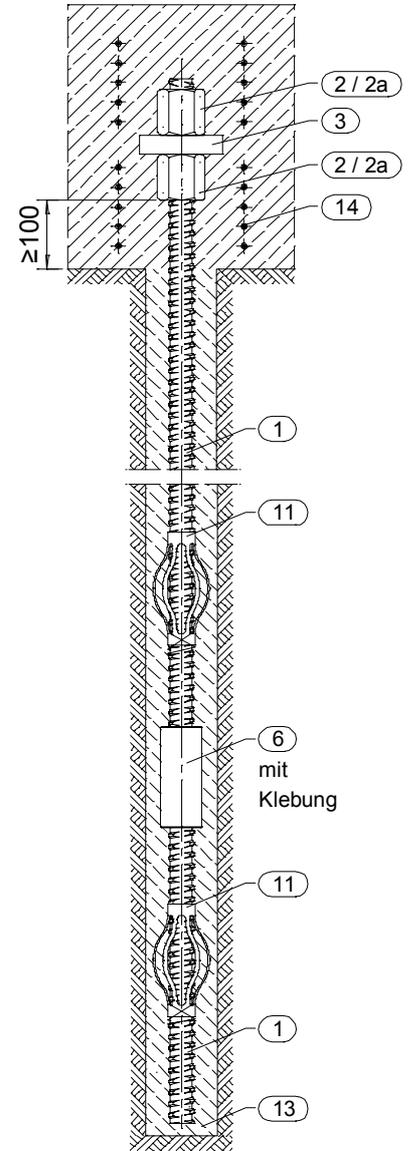
Zugbeanspruchung



Druckbeanspruchung



Wechselbeanspruchung



Alternative

- 1 Stabstahl mit Gewinderippen
- 2 Anker Mutter
- 2a Anker Mutter, Guss
- 3 Pfahlkopfplatte
- 4 Kontermutter kurz
- 4a Kontermutter kurz, Guss
- 5 Kontermutter lang
- 6 Muffe
- 7 Kontaktmuffe
- 8 Schrumpfschlauch
- 11 Federkorbandhalter
- 13 Zementmörtelüberdeckung
- 14 Zusatzbewehrung

Tragglied Ø [mm]	min. Bohrloch-Ø ¹⁾ Kurzzeitpfahl	
	ohne Muffe	mit Muffe
18	61	66
22	65	70
25	68	75
28	72	80
30	74	85
35	80	95
43	88	110
50	95	120
57,5	103	132
63,5	109	144
75	122	138

Nutzungsdauer in Jahren	Pfahl Typ	Richtwert Abrostrate in [mm] bei einer Korrosionsbelastung		
		niedrig	mittel	hoch
Bis zu 2 Jahren	A	0	0	0,2
	B	0	0	0
2-7 Jahre ²⁾	A	0,2	0,2	0,5
	B	0	0	0,4

A - blanker Stahl
B - verzinkter Stahl, Zinkschichtdicke ≥ 150 µm
Zementmörtelüberdeckung 20mm (mindestens 15mm)

1) Mindest-Bohrlochdurchmesser (unverroht)/Mindest-Verrohrungsdurchmesser sind bezogen auf die Mindestbetonüberdeckung. Werte für Federkorbandhalter und Injizierschlauch sind nicht berücksichtigt.
2) Für eine Erweiterung der Nutzungsdauer bis zu 7 Jahren ist auch bei einer Arbeitsfuge mit Kraftschluss eine Pfahlhalsverrohrung anzuordnen.

Die Ausführung der Pfahlhalsverrohrung hat nach der Tabelle „Ausbildung der Pfahlhalsverrohrung“ auf Seite 9 im Typenblatt zu erfolgen.
Bei Zugbeanspruchung ist eine Sicherung gegen Herausdrehen an der Muffenverbindung notwendig.
Bei Wechselbeanspruchung ist die Muffenverbindung immer zu kleben.



ANP – SYSTEMS GmbH

ANP – Mikropfahl SAS 670

Betonstahl SAS 670 Ø 18 – 75 mm mit Gewinderippen

Systemzeichnung: Dauerpfahl mit Abrostung

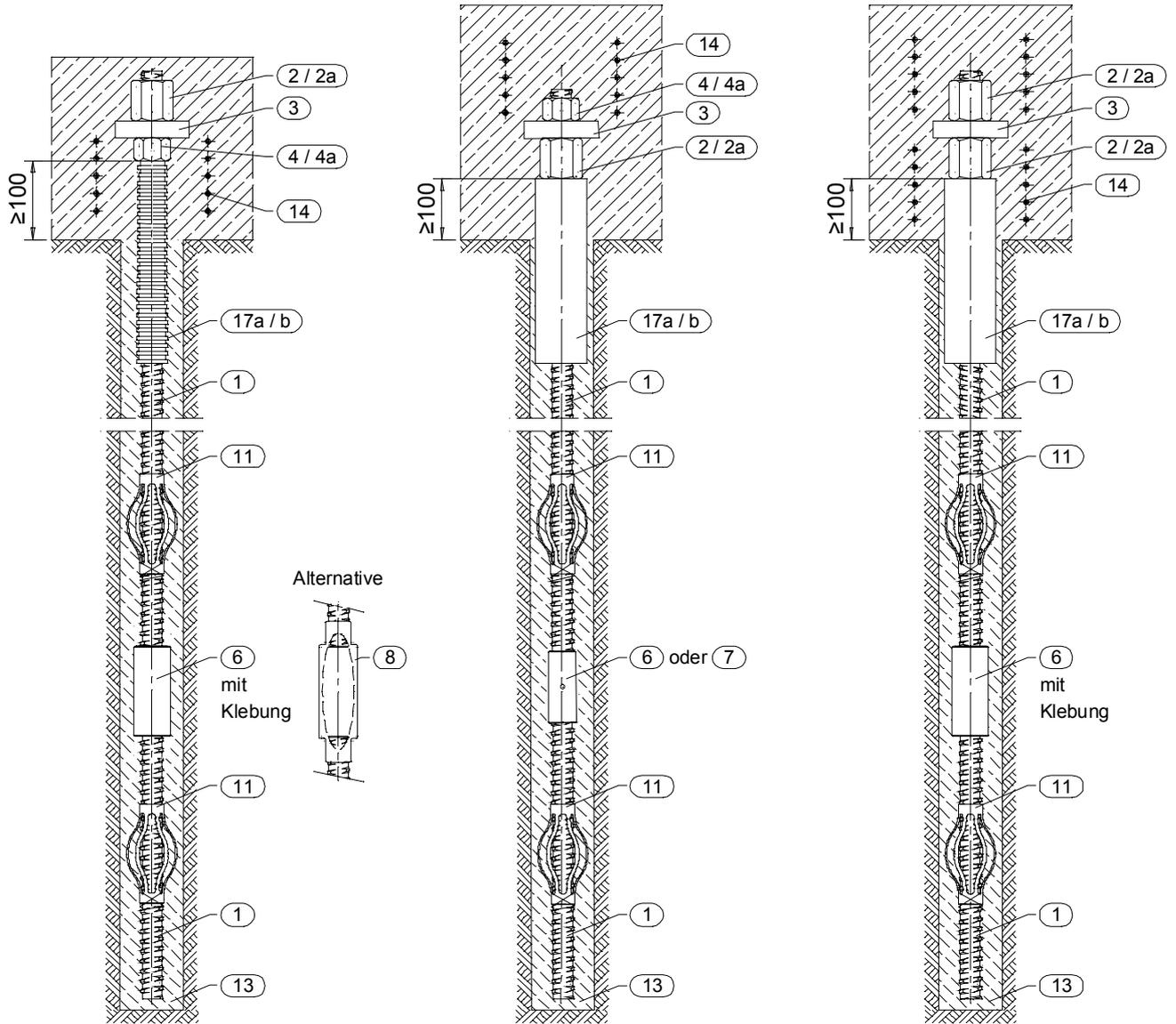
Pfahlkopfplatte und Muffenverbindung

Anlage 2

Zugbeanspruchung

Druckbeanspruchung

Wechselbeanspruchung



- 1 Stabstahl mit Gewinderippen
- 2 Ankermutter
- 2a Ankermutter, Guss
- 3 Pfahlkopfplatte
- 4 Kontermutter kurz
- 4a Kontermutter kurz, Guss
- 6 Muffe
- 7 Kontaktmuffe
- 8 Schrumpfschlauch
- 11 Federkorbandstandhalter
- 13 Zementmörtelüberdeckung
- 14 Zusatzbewehrung
- 17a Pfahlhalsverrohrung, Kunststoffrohr²⁾
- 17b Pfahlhalsverrohrung, Stahlrohr²⁾

Tragglied Ø [mm]	min. Bohrloch-Ø ¹⁾	
	Kurzzeitpfahl	
	ohne Muffe	mit Muffe
18	61	66
22	65	70
25	68	75
28	72	80
30	74	85
35	80	95
43	88	110
50	95	120
57,5	103	132
63,5	109	144
75	122	138

Nutzungsdauer in Jahren	Pfahl Typ	Richtwert Abrostrate in [mm] bei einer Korrosionsbelastung		
		niedrig	mittel	hoch
		2-7	A	0,2
	B	0	0	0,4
7-30	A	0,4	0,6	DCP
	B	0	0,2	
30-50	A	0,5	1,0	DCP
	B	0,2	0,5	

A - blanker Stahl,
 B - verzinkter Stahl, Zinkschichtdicke ≥ 150 µm
 Zementmörtelüberdeckung 20mm (mindestens 15mm)
 DCP Korrosionsschutz durch Verrohrung nach ÖNORM EN 1537

1) Mindest-Bohrlochdurchmesser (unverrohrt)/Mindest-Verrohrungsdurchmesser sind bezogen auf die Mindestbetonüberdeckung. Werte für Federkorbandstandhalter und Injizierschlauch sind nicht berücksichtigt.
 2) Die Ausführung der Pfahlhalsverrohrung hat nach der Tabelle „Ausbildung der Pfahlhalsverrohrung“ auf Seite 9 im Typenblatt zu erfolgen

Bei Zugbeanspruchung ist eine Sicherung gegen Herausdrehen an der Muffenverbindung notwendig.
 Bei Wechselbeanspruchung ist die Muffenverbindung immer zu kleben.



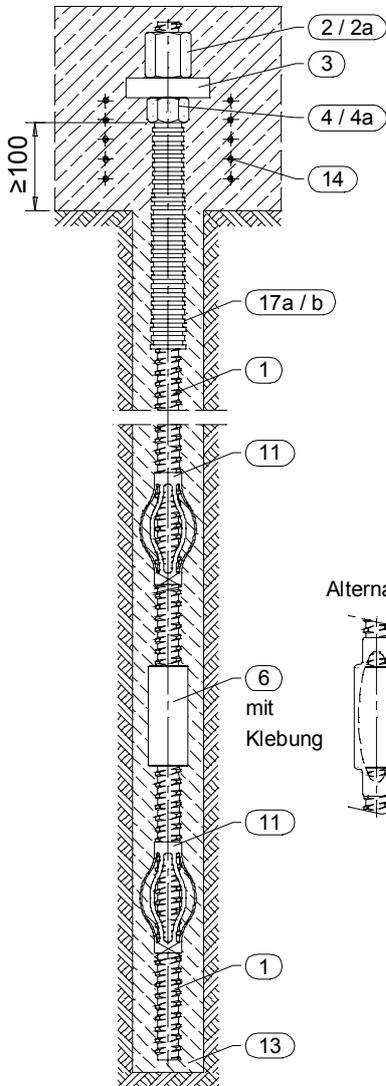
ANP – SYSTEMS GmbH

ANP – Mikropfahl SAS 670

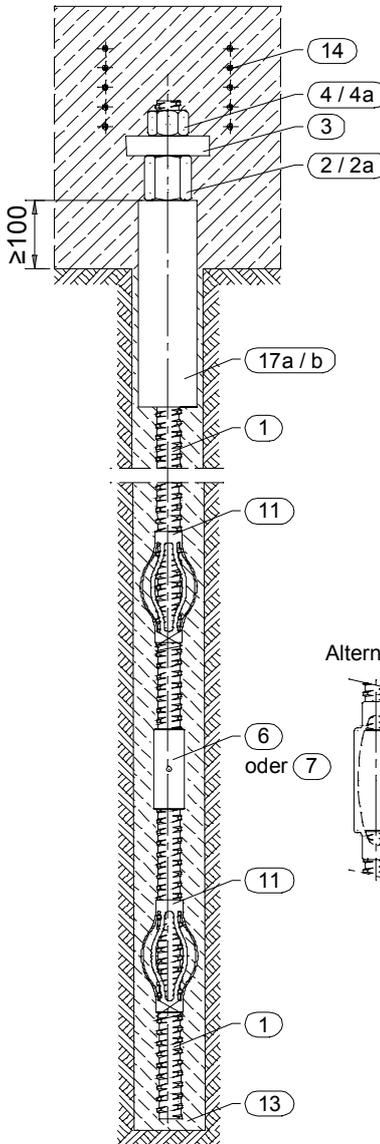
Betonstahl SAS 670 Ø 18 – 75 mm mit Gewinderippen
 Systemzeichnung: Dauerpfahl mit SCP Standard-Korrosionsschutz durch Zementmörtelüberdeckung, Pfahlkopfplatte und Muffenverbindung

Anlage 3

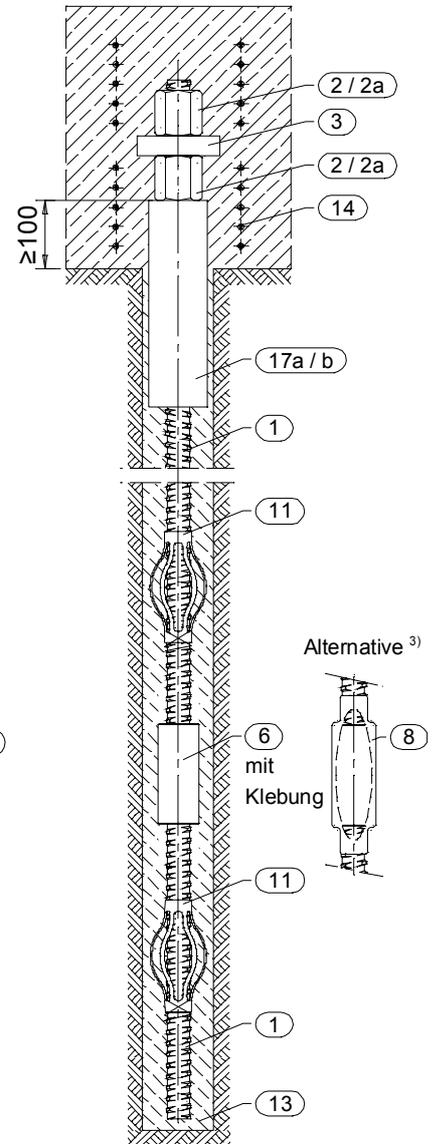
Zugbeanspruchung



Druckbeanspruchung



Wechselbeanspruchung



- 1 Stabstahl mit Gewinderippen
- 2 Anker Mutter
- 2a Anker Mutter, Guss
- 3 Pfahlkopfplatte
- 4 Kontermutter kurz
- 4a Kontermutter kurz, Guss
- 6 Muffe
- 7 Kontaktmuffe
- 8 Schrumpfschlauch
- 11 Federkorbabstandhalter
- 13 Zementmörtelüberdeckung
- 14 Zusatzbewehrung
- Pfahlhalssverrohrung:
 17a Kunststoffrohr²⁾
 17b Stahlrohr²⁾

Korrosionsbelastung in Böden	Mindestzementmörtelüberdeckung in [mm]	
	Druck ¹⁾	Zug, Wechsellast ⁴⁾
niedrig	25	35
mittel	30	40
hoch	35	45
	oder Verrohrung nach ONORM EN 1537	

Tragglied Ø [mm]	min. Bohrloch-Ø ¹⁾											
	Dauerpfahl mit Standardkorrosionsschutz											
	niedrige Korrosionsbelastung						mittlere Korrosionsbelastung					
	Druck		Wechsellast		Zug		Druck		Wechsellast		Zug	
	ohne Muffe [mm]	mit Muffe ³⁾ [mm]	ohne Muffe [mm]	mit Muffe ³⁾ [mm]	ohne Muffe [mm]	mit Muffe ³⁾ [mm]	ohne Muffe [mm]	mit Muffe ³⁾ [mm]	ohne Muffe [mm]	mit Muffe ³⁾ [mm]	ohne Muffe [mm]	mit Muffe ³⁾ [mm]
18	71	86	91	106	91	106	81	96	101	116	101	116
22	74	90	94	110	94	110	84	100	105	120	105	120
25	78	95	98	115	98	115	88	105	109	125	109	125
28	82	100	102	120	102	120	92	110	112	130	112	130
30	84	105	104	125	104	125	94	115	114	135	114	135
35	95	121	110	135	110	135	102	125	120	145	120	145
43	116	149	117	150	118	150	116	149	128	160	128	160
50	134	170	134	170	125	160	134	170	134	170	135	170
57,5	155	194	155	194	133	172	155	194	155	194	143	182
63,5	170	216	170	216	139	184	170	216	170	216	149	194
75	201	228	201	228	151	178	201	228	201	228	161	188

- 1) Mindest-Bohrlochdurchmesser (unverrohrt)/Mindest-Verrohrungsdurchmesser sind bezogen auf die Mindestbetonüberdeckung. Werte für Federkorbabstandhalter und Injizierschlauch sind nicht berücksichtigt.
- 2) Die Ausführung der Pfahlhalssverrohrung hat nach der Tabelle „Ausbildung der Pfahlhalssverrohrung“ auf Seite 9 im Typenblatt zu erfolgen
- 3) Bei Verwendung eines Schrumpfschlauches an der Muffe ist die Mindestzementmörtelüberdeckung auf das Tragglied zu beziehen, d.h. die Spalte „ohne Muffe“ zu verwenden.
- 4) Bei Druck und Wechsellast ist eine Zementmörtelüberdeckung von $\geq 0.8 \cdot \varnothing$ einzuhalten.

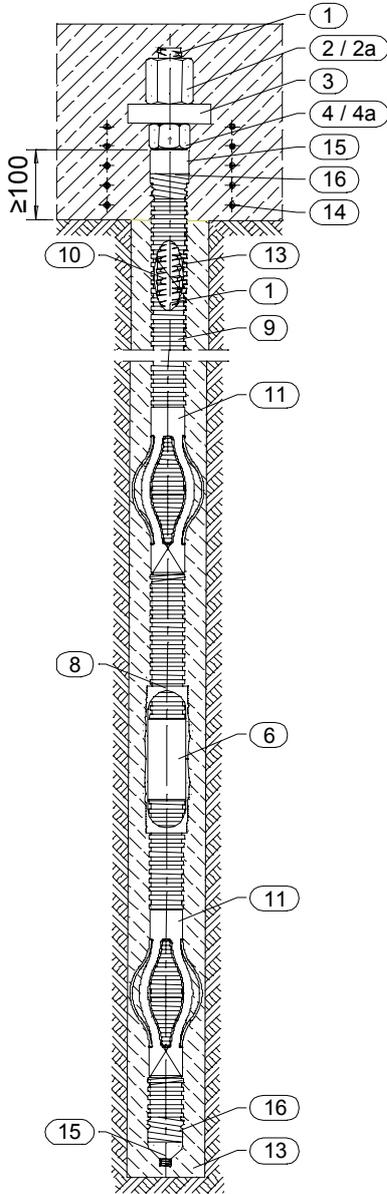
Bei Zugbeanspruchung ist eine Sicherung gegen Herausdrehen an der Muffenverbindung notwendig.

Bei Wechselbeanspruchung ist die Muffenverbindung immer zu kleben.

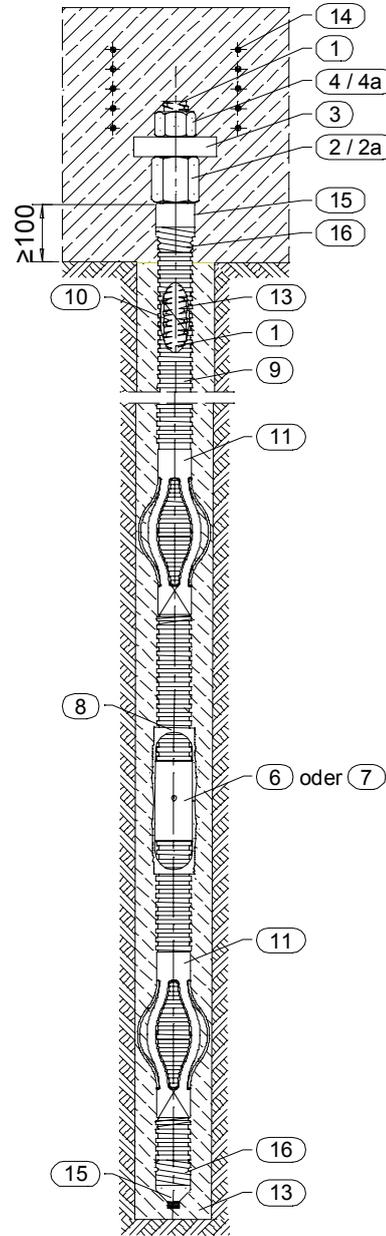
Bei Durchmessern 50 bis 75 mm ist bei Zug- und Wechselbelastung zusätzlich ein Schrumpfschlauch an der Muffenverbindung vorzusehen.



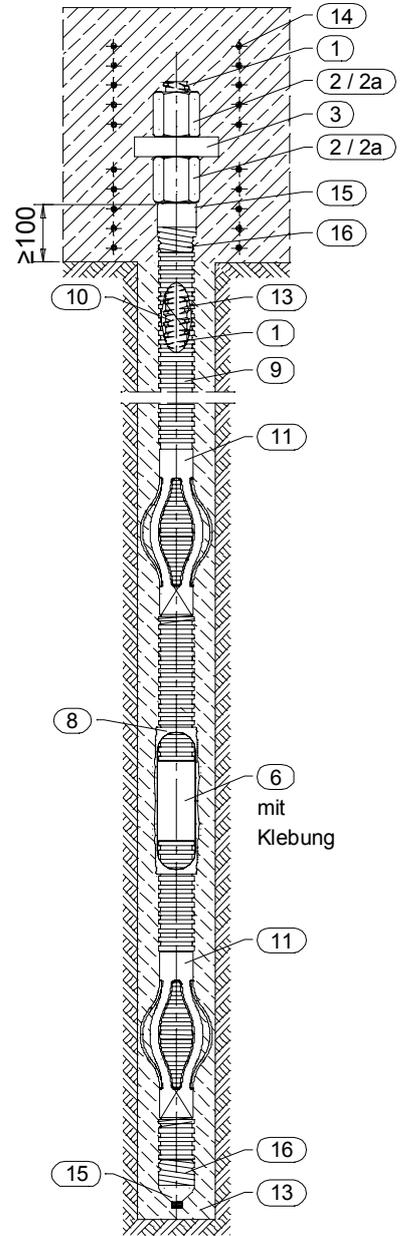
Zugbeanspruchung



Druckbeanspruchung



Wechselbeanspruchung



- 1 Stabstahl mit Gewinderippen
- 2 Anker Mutter
- 2a Anker Mutter, Guss
- 3 Pfahlkopfplatte
- 4 Kontermutter kurz
- 4a Kontermutter kurz, Guss
- 6 Muffe
- 7 Kontaktmuffe

- 8 Schrumpfschlauch
- 9 Hüllrohr gerippt
- 10 innerer Abstandhalter
- 11 Federkorbandstanzhalter
- 13 Zementmörtelüberdeckung
- 14 Zusatzbewehrung
- 15 Injizier- und Endkappe
- 16 PE - Klebeband

Tragglied Ø [mm]	min. Bohrloch-Ø ¹⁾	
	Dauerpfahl	
	ohne Muffe	mit Muffe
18	70	70
22	70	70
25	70	70
28	70	70
30	76	76
35	85	85
43	100	100
50	100	105
57,5	120	122
63,5	120	134
75	134	133

1) Mindest-Bohrlochdurchmesser (unverrohrt)/Mindest-Verrohrungsdurchmesser sind bezogen auf die Mindestbetonüberdeckung. Werte für Federkorbandstanzhalter und Injizierschlauch sind nicht berücksichtigt.

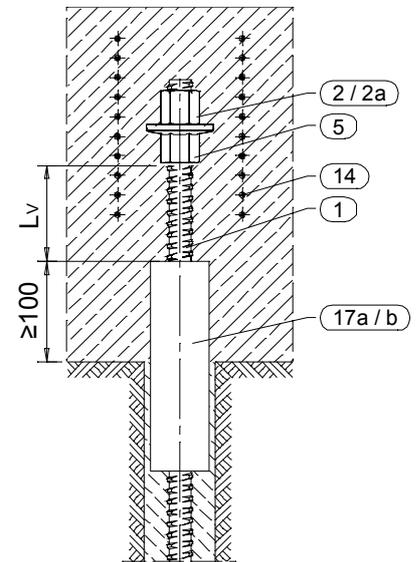
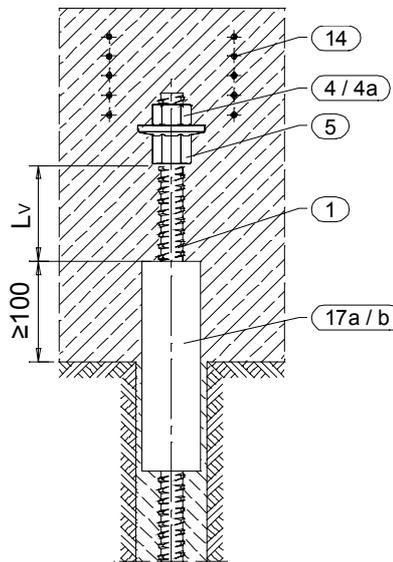
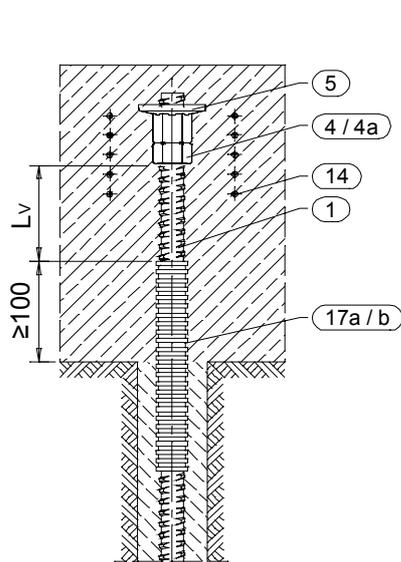


Kurzzeitpfahl und Dauerpfahl mit Abrostung bzw. mit Standard-Korrosionsschutz SCP durch Zementmörtelüberdeckung

Zugbeanspruchung

Druckbeanspruchung

Wechselbeanspruchung

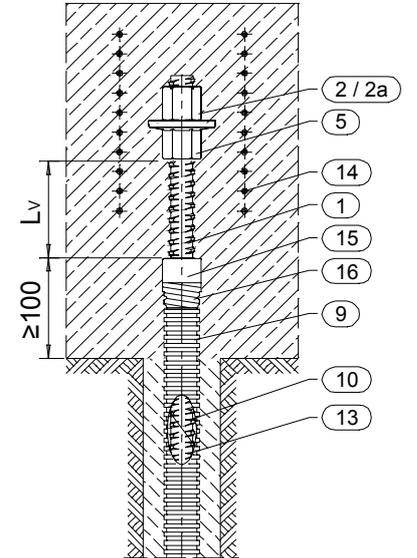
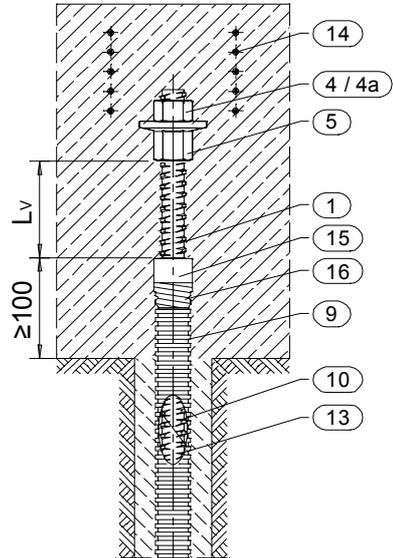
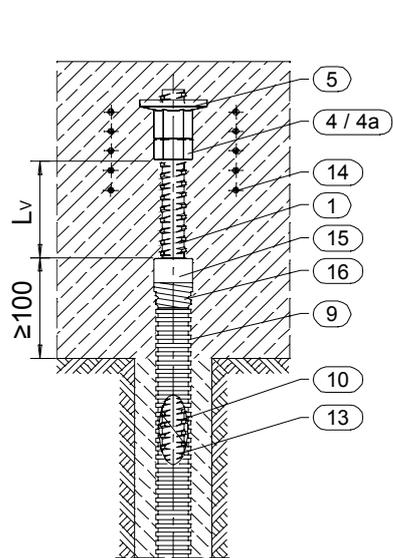


Dauerpfahl mit doppeltem Korrosionsschutz – DCP durch Verrohrung nach ÖNORM EN 1537

Zugbeanspruchung

Druckbeanspruchung

Wechselbeanspruchung



- 1 Stabstahl mit Gewinderippen
- 2 Anker Mutter
- 2a Anker Mutter, Guss
- 4 Kontermutter kurz
- 4a Kontermutter kurz, Guss
- 5 Ankerstück
- 9 Hüllrohr

- 10 innerer Abstandhalter
- 13 Zementleimüberdeckung
- 14 Zusatzbewehrung
- 15 Injizier- und Endkappe
- 16 PE – Klebeband
- 17a Pfahlhalsverrohrung, Kunststoff
- 17b Pfahlhalsverrohrung, Stahl

Lv – Verbundvorlänge

Tragglied Ø [mm]	Verbundvorlänge ¹⁾	
	Lv ≥ 10 ds [mm]	
18	180	
22	220	
25	250	
28	280	
30	300	
35	350	
43	430	
50	500	
57,5	575	
63,5	635	

¹⁾ Mindestbetonfestigkeit ≥ 25 N/mm²



ANP – SYSTEMS GmbH

ANP – Mikropfahl SAS 670

Betonstahl SAS 670 Ø 18 – 75 mm mit Gewinderippen
Mikropfahlsystem: Achs- und Randabstände, Zusatzbewehrung, Schlupfwerte, Kontermomente

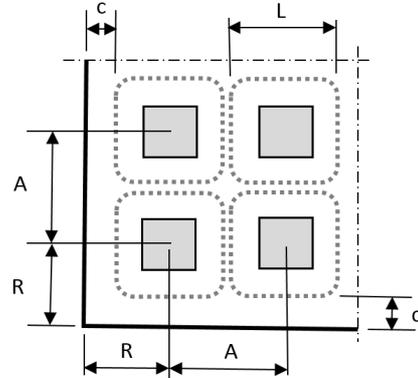
Anlage 6

Achs- und Randabstände, Zusatzbewehrung

Mindestbetongüte ≥ C20/25, Betondruckfestigkeit zum Zeitpunkt der Lastübertragung ≥ 25N/mm²

- Mechanische Verankerung ohne Zusatzbewehrung

Tragglied	Pfahlkopfplatte TR2139, TR2138		Ankerstück ¹⁾²⁾	
	Achs- abstand A [mm]	Rand- abstand R [mm]	Achs- Abstand A [mm]	Rand- Abstand R [mm]
18	180	80 +C	280	130 +C
22	210	95 +C	340	160 +C
25	230	105 +C	400	190 +C
28	250	115 +C	440	210 +C
30	270	125 +C	480	230 +C
35	310	145 +C	550	265 +C
43	380	180 +C	680	330 +C
50	440	210 +C	800	390 +C
57,5	510	245 +C	900	440 +C
63,5	575	277,5 +C	1000	490 +C
75	800	390 +C	-	-



n – Anzahl der Bügel
Ø – Stabdurchmesser der Bügel
a – Abstand der Bügel
L – Seitenlänge der Bügel
c - Betondeckung der konstruktiven Bewehrung in Abhängigkeit der nationalen Anforderungen und gegebenenfalls von Expositionsklassen nach ÖNORM EN 206

- Mechanische Verankerung mit Zusatzbewehrung, gerippter Bewehrungsstahl R_e ≥ 500N/mm²

Tragglied	Pfahlkopfplatte TR2139, TR2138			Ankerstück ¹⁾²⁾		
	Achs- abstand A [mm]	Rand- abstand R [mm]	Zusatz- bewehrung ³⁾ n × Ø / a / L [mm]	Achs- Abstand A [mm]	Rand- Abstand R [mm]	Zusatz- bewehrung ³⁾ n × Ø / a / L [mm]
18	120	50 +C	2 × 8 / 45 / 100	200	90 +C	2 × 8 / 70 / 180
22	140	60 +C	3 × 8 / 45 / 120	250	115 +C	4 × 8 / 60 / 230
25	160	70 +C	3 × 10 / 45 / 140	280	130 +C	4 × 10 / 70 / 260
28	180	80 +C	3 × 10 / 45 / 160	310	145 +C	5 × 10 / 60 / 290
30	190	85 +C	4 × 10 / 40 / 170	340	160 +C	6 × 10 / 60 / 320
35	220	100 +C	4 × 10 / 45 / 200	390	185 +C	6 × 12 / 80 / 370
43	270	125 +C	4 × 12 / 55 / 250	480	230 +C	8 × 12 / 70 / 460
50	310	145 +C	4 × 16 / 55 / 290	580	280 +C	11 × 12 / 60 / 560
57,5	350	165 +C	5 × 16 / 60 / 330	640	310 +C	13 × 12 / 60 / 620
63,5	390	185 +C	5 × 16 / 65 / 370	710	345 +C	15 × 12 / 50 / 690
75	500	240 +C	7 × 16 / 65 / 480	-	-	-

¹⁾ Ankerstück immer mit Verbundvorlänge L_v ≥ 10 ds

²⁾ Mindestbetongüte für Verankerungen mit Ankerstück ohne und mit Zusatzbewehrung ≥ C25/30

³⁾ Bei Wechselbeanspruchung ist die Anzahl der Bügel jeweils oberhalb und unterhalb der Pfahlplatte anzuordnen. Die Bügelbewehrung kann bei Bedarf auf eine äquivalente Wendel umgerechnet werden, siehe dazu ÖNORM EN 1992-1-1, Abschnitt 6.5.

Schlupfwerte und Kontermomente

der Muffenverbindung / Endverankerung ohne und mit Klebung

Tragglied Ø [mm]	Kontermoment [kNm]	Schlupfwerte an der Muffenverbindung ²⁾	
		ohne Klebung [mm]	mit Klebung [mm]
18	0,4	0,4	0,1
22			
25			
28 ¹⁾			
30	0,6	12	0,2
35			
43 ¹⁾			
50	0,8	15	0,3
57,5 ¹⁾			
63,5			
75 ¹⁾			
75 ¹⁾		2,9	0,4

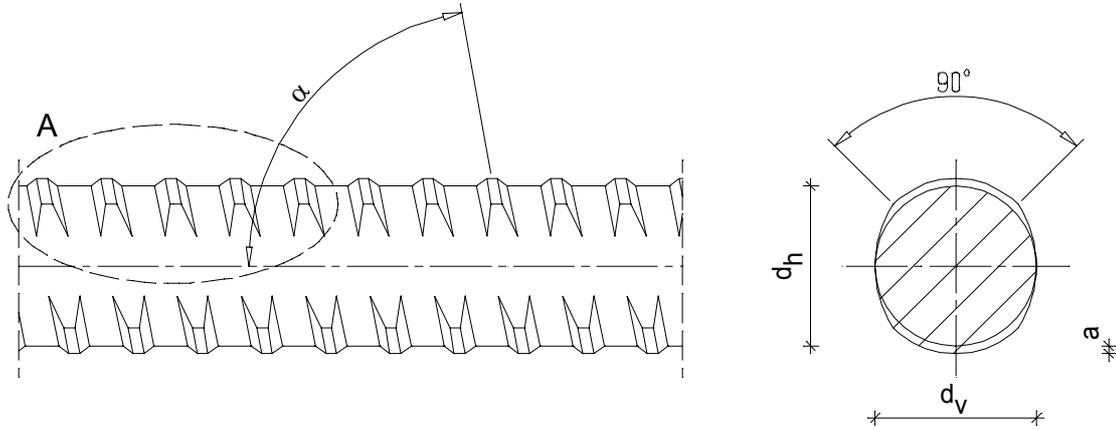
¹⁾ gemessene maximale Schlupfwerte, die weiteren Werte wurden stufenweise angepasst

²⁾ bei der Endverankerung sind die halben Werte anzuwenden

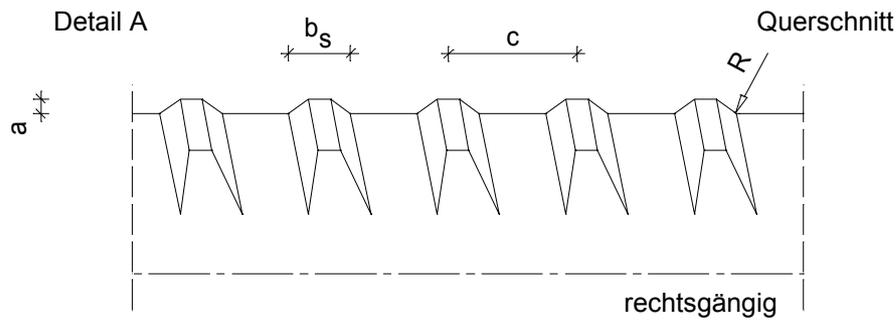


1 Betonstahl SAS 670

Formgebung



Gewindeform



Nennmaße und Nenngewicht / Rippengeometrie

Nenn-durchmesser	Nenn-masse ¹⁾	Nenn-querschnitt	Kerndurchmesser		Gewinderippen, rechtsgängig				
			d _h	d _v	Höhe	Breite	Abstand	Neigung	Radius
d _s	G	A	d _h	d _v	min. a	b _s	c	α	R
[mm]	[kg/m]	[mm ²]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[°]	[mm]
18	2,00	254	17,5	17,2	1,10	4,1	8,0	82,5	1,0
22	2,98	380	21,7	21,4	0,90	3,9	8,0	83,8	1,0
25	3,85	491	24,3	23,9	1,30	5,5	10,0	83,3	1,0
28	4,83	616	27,3	26,9	1,45	5,6	11,0	83,4	1,5
30	5,55	707	29,5	29,1	1,50	5,6	11,0	83,9	1,5
35	7,55	962	34,3	33,8	1,70	6,3	14,0	83,3	2,0
43	11,40	1452	42,4	41,9	2,00	8,0	17,0	83,4	2,0
50	15,40	1963	49	48,7	2,00	8,5	18,0	82,5	2,5
57,5	20,38	2597	56,2	55,7	2,40	9,8	20,0	83,3	2,5
63,5	24,86	3167	62,4	60,7	2,40	10,5	21,0	84,4	2,5
75	34,68	4418	74	72,5	2,60	12,0	24,0	84,4	3,0

¹⁾ Abweichung von der Nennmasse ± 4,5%


Eigenschaften und Anforderungen

Eigenschaften und Anforderungen			
	Nenndurchmesser	charakteristische	
		Streckgrenzkraft	Bruchkraft
	d_s	F_e ¹⁾	F_m
	[mm]	[kN]	[kN]
1	18	170	204
	22	255	304
	25	329	393
	28	413	493
	30	474	565
	35	645	770
	43	973	1162
	50	1315	1570
	57,5	1740	2077
	63,5	2122	2534
	75	2960	3535
	2	Charakteristische Streckgrenze ^{1), 2)} R_e	[N/mm ²]
3	Charakteristische Zugfestigkeit ¹⁾ R_m	[N/mm ²]	800
4	Streckgrenzenverhältnis R_m / R_e	-	≥ 1,1
5	Gesamtdehnung bei Höchstkraft (ermittelt aus $A_g + R_m / E * 100$ %) A_{gt}	%	≥ 5,0
6	Bezogene Rippenfläche f_R	-	≥ 0,075
7	Dauerschwingfestigkeit $2x \sigma_A$ bei einer Oberspannung von $\sigma_{max} = 0,7 R_{e, Nenn}$ und $N = 2 \times 10^6$ Lastwechsel	[N/mm ²]	$d_s = 18 - 43$: 150
			$d_s = 50 - 63,5$: 120
			$d_s = 75$: 100 ⁴⁾
8	Eignung zum Biegen	nicht vorgesehen	
9	Eignung zum Schweißen	nicht vorgesehen	

¹⁾ 5% - Fraktilwert

²⁾ R_e entspricht der $R_{p0,2}$ – Dehngrenze

³⁾ $E \sim 200\,000$ N/mm²
⁴⁾ $\sigma_0 = 0,375 R_{m, Nenn}$ (Oberspannung 300 N/mm²) und $N = 2 \times 10^6$ Lastwechsel



**ANP –
SYSTEMS
GmbH**

ANP – Mikropfahl SAS 670

Betonstahl SAS 670 Ø 18 – 75 mm mit Gewinderippen
Bemessungswerte des Grenzzustandes der Tragfähigkeit und
zulässige Prüfkraft gem. ÖNORM B 1997-1-1 und Tragkraft-
verlust durch Abrosten

Anlage 9

Bemessungswert des inneren Materialwiderstandes des ANP SAS 670 Zug-, Druck- und Wechselfahles gem. ÖNORM B1997-1-1

Tragglied	char. Kraft an der 0,2 % Dehngrenze	char. Bruchkraft	Bemessungswert des Grenzzustandes			zul. Prüfkraft P_p ³⁾ für Eignungs-, Untersuchungs- und Abnahmeprüfungen	
			der inneren Tragfähigkeit des Pfahles	der Tragfähigkeit nach Schadensfolgeklassen $R_{t,d} = F_{p0,2} / 1,15^{(1)2)} / \eta$		$P_p < 0,9 * F_{p0,2}$	$P_p < 0,80 * F_{pk}$
Ø	$F_{p0,2}$	F_{pk}	$F_{p0,2} / 1,15^{(1)}$	CC1, CC2 $\eta = 1,3$	CC3 $\eta = 1,5$		
[mm]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
18	170	204	148	114	99	153	163
22	255	304	222	171	148	230	243
25	329	393	286	220	191	296	314
28	413	493	359	276	239	372	394
30	474	565	412	317	275	427	452
35	645	770	561	431	374	581	616
43	973	1162	846	651	564	876	930
50	1315	1570	1143	880	762	1184	1256
57,5	1740	2077	1513	1164	1009	1566	1662
63,5	2122	2534	1845	1419	1230	1910	2027
75	2960	3535	2574	1980	1716	2664	2828

1) Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_s = 1,15$ für Stahl nach ÖNORM EN 1992-1-1, Tabelle 2.1N.

2) Die Tragfähigkeitswerte nach Schadensfolgeklassen gelten für den Zug- und Wechselffahl.

3) Der jeweils kleinere Wert ist maßgebend.

Tragkraftverlust durch Abrosten

Tragglied	char. Kraft an der 0,2 % Dehngrenze	char. Bruchkraft	Quer- schnitts- fläche A	Abrostungsverlust in % ¹⁾ bei einer Abrostung von					
				0,0	0,2	0,4	0,5	0,6	1,0
Ø	$F_{p0,2}$	F_{pk}	A	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
[mm]	[kN]	[kN]	[mm ²]						
18	170	204	254	0,0	4,4	8,7	10,8	12,9	21,0
22	255	304	380	0,0	3,6	7,1	8,9	10,6	17,4
25	329	393	491	0,0	3,2	6,3	7,8	9,4	15,4
28	413	493	616	0,0	2,8	5,6	7,0	8,4	13,8
30	474	565	707	0,0	2,6	5,3	6,6	7,8	12,9
35	645	770	962	0,0	2,3	4,5	5,6	6,7	11,1
43	973	1162	1452	0,0	1,9	3,7	4,6	5,5	9,1
50	1315	1570	1963	0,0	1,6	3,2	4,0	4,7	7,8
57,5	1740	2077	2597	0,0	1,4	2,8	3,4	4,1	6,8
63,5	2122	2534	3167	0,0	1,3	2,5	3,1	3,7	6,2
75	2960	3535	4418	0,0	1,1	2,1	2,6	3,2	5,3

1) Der Abrostverlust ist bezogen auf den Nennquerschnitt, die Abrostung auf den Nennradius.

Der Dickenverlust des Stabes am Durchmesser beträgt den doppelten Wert der Abrostung.

Der Bemessungswert der Pfahltragfähigkeit ist in Abhängigkeit von der Nutzungsdauer und der Bodenkorrosivität um den Tragkraftverlust durch Abrosten zu reduzieren.



ANP – SYSTEMS GmbH

ANP – Mikropfahl SAS 670

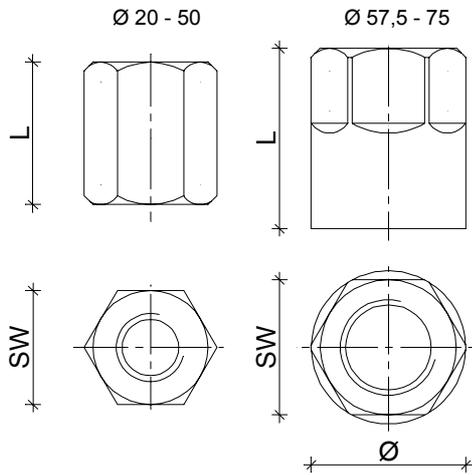
Betonstahl SAS 670 Ø 18 – 75 mm mit Gewinderippen

Zubehörteile: Anker Mutter, Anker Mutter – Guss und Pfahlkopfplatte

Anlage 10

2 Anker Mutter, TR2002 – Ø

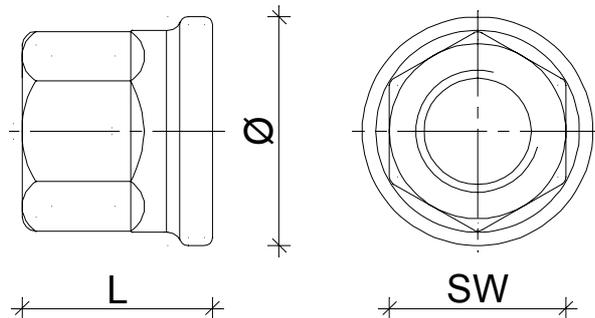
Material: Ø 18 – 50: S355J2C+C nach ÖNORM EN 10277-2
 Ø 57,5 – 63,5: S355J2H nach ÖNORM EN 10210-1
 Ø 75: 42CrMo4+QT nach ÖNORM EN 10083-3



Tragglied Ø [mm]	SW [mm]	L [mm]	Ø [mm]
18	36	45	-
22	41	50	-
25	46	55	-
28	50	60	-
30	55	65	-
35	65	70	-
43	80	90	-
50	80	100	-
57,5	90	120	102
63,5	100	145	114
75	100	130	108

2a Anker Mutter – Guss, TR2163 – Ø

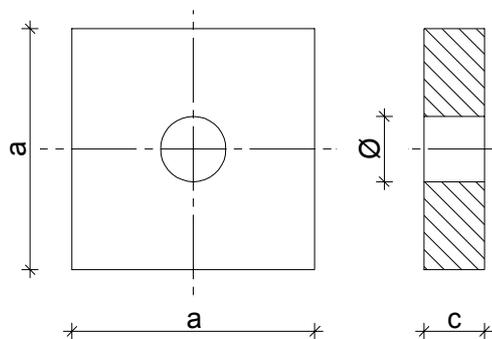
Material: Ø 35 – 63,5: GE300 nach ÖNORM EN 10293



Tragglied Ø [mm]	SW [mm]	L [mm]	Ø [mm]
35	65	70	75
43	80	90	92
50	80	100	92
57,5	90	120	102
63,5	100	145	114

3 Pfahlkopfplatte, TR2139 – Ø

Material: Ø 18 – 75: S235JR nach ÖNORM EN 10025-2



Tragglied Ø [mm]	TR2139			TR2138		
	a [mm]	c [mm]	Ø [mm]	a [mm]	c [mm]	Ø [mm]
18	100	25	23	100	20	23
22	110	30	27	110	25	27
25	115	30	30	110	25	30
28	120	30	34	115	30	34
30	130	35	36	130	30	36
35	150	40	42	150	35	42
43	185	55	50	185	45	50
50	215	60	60	215	50	60
57,5	245	65	67	250	55	67
63,5	270	70	74	265	60	74
75	325	70	86	320	70	86

3a Pfahlkopfplatte, TR2138 – Ø

Material: Ø 18 – 75: S355J2 nach ÖNORM EN 10025-2



ANP – SYSTEMS GmbH

ANP – Mikropfahl SAS 670

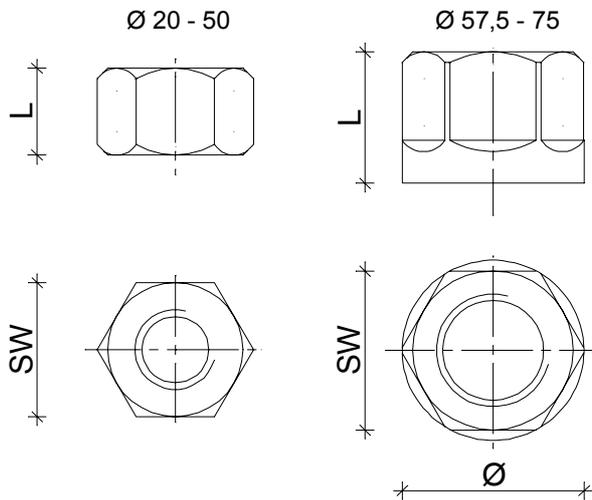
Betonstahl SAS 670 Ø 18 – 75 mm mit Gewinderippen

Zubehörteile: Kontermutter kurz, Kontermutter kurz - Guss und Ankerstück

Anlage 11

4 Kontermutter kurz, TR2040 – Ø

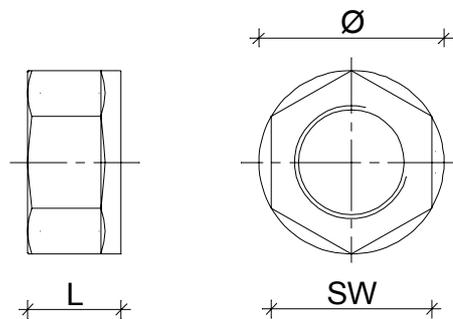
Material: Ø 18 – 50: S355J2C+C nach ÖNORM EN 10277-2
 Ø 57,5 – 63,5: S355J2H nach ÖNORM EN 10210-1
 Ø 75: 42CrMo4+QT nach ÖNORM EN 10083-3



Tragglied Ø [mm]	SW [mm]	L [mm]	Ø [mm]
18	30	22	-
22	36	22	-
25	41	22	-
28	46	30	-
30	50	30	-
35	55	40	-
43	70	50	-
50	80	50	-
57,5	90	60	102
63,5	100	70	114
75	100	80	108

4a Kontermutter kurz – Guss, TR2040C – Ø

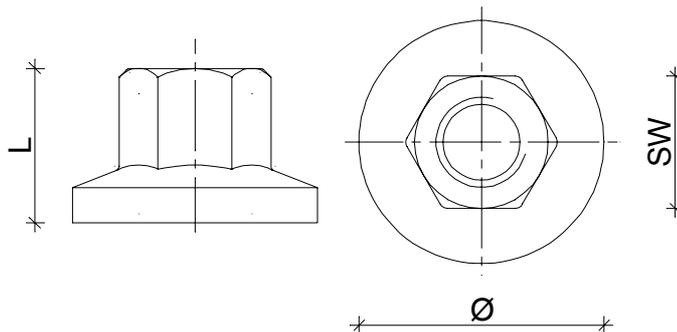
Material: Ø 35 – 63,5: G34CrMo4 nach ÖNORM EN 10293



Tragglied Ø [mm]	SW [mm]	L [mm]	Ø [mm]
35	55	40	64
43	70	50	81
50	80	50	90
57,5	90	60	102
63,5	100	70	114

5 Ankerstück, TR2073 – Ø

Material: Ø18 – 63,5: G34CrMo4 nach ÖNORM EN 10293



Tragglied Ø [mm]	SW [mm]	L [mm]	Ø [mm]
18	32	35	55
22	36	45	65
25	41	50	75
28	46	55	85
30	50	60	90
35	60	70	105
43	70	85	130
50	80	100	150
57,5	90	115	175
63,5	100	125	190



**ANP –
SYSTEMS
GmbH**

ANP – Mikropfahl SAS 670

Betonstahl SAS 670 Ø 18 – 75 mm mit Gewinderippen

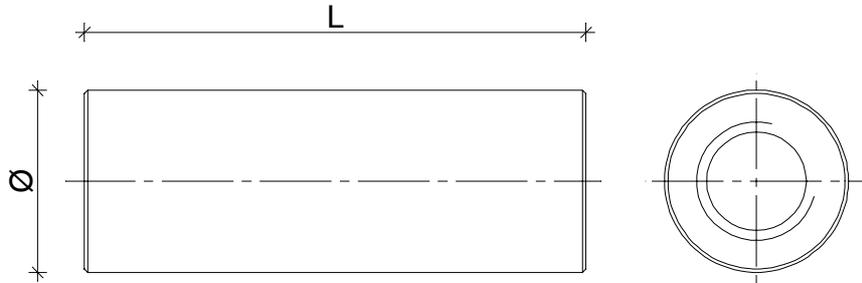
Zubehörteile: Muffe und Kontaktmuffe

Korrosionsschutz: Federkorbdistanzhalter

Anlage 12

6 Muffe TR3003 – Ø

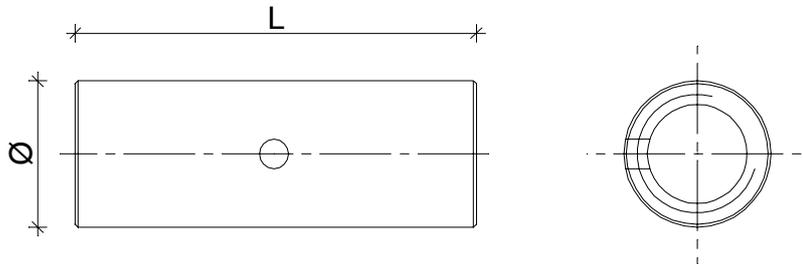
Material: Ø 18 – 50: S355J2 nach ÖNORM EN 10025-2
 Ø 57,5 – 63,5: S355J2H nach ÖNORM EN 10210-1
 Ø 75: 42CrMo4+QT nach ÖNORM EN 10083-3



Tragglied Ø [mm]	L [mm]	Ø [mm]
18	100	36
22	110	40
25	120	45
28	140	50
30	150	55
35	170	65
43	200	80
50	210	90
57,5	250	102
63,5	300	114
75	260	108

7 Kontaktmuffe TR3006 – Ø

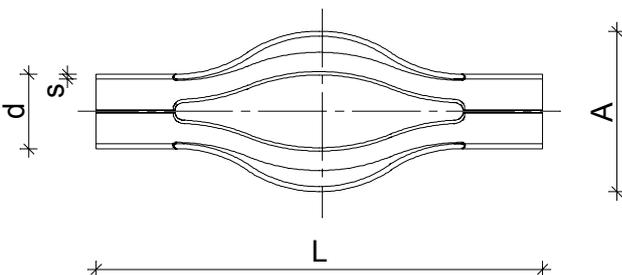
Material: Ø 18 – 43: S355J2 nach ÖNORM EN 10025-2
 Ø 50 – 75: S355J2H nach ÖNORM EN 10210-1



Tragglied Ø [mm]	L [mm]	Ø [mm]
18	70	27
22	75	32
25	80	40
28	90	45
30	90	45
35	120	50
43	160	65
50	170	70
57,5	180	83
63,5	200	90
75	230	102

11 Federkorbdistanzhalter

Material: PVC-U nach DIN 8061/8062



Tragglied Ø [mm]	Kurzzeitpfahl / Mikropfahl mit SCP			Mikropfahl mit DCP		
	d × s [mm]	A [mm]	L [mm]	d × s [mm]	A [mm]	L [mm]
18	20 × 1,5	70	150 bis 175	55 × 3,0	125	250 bis 290
22	25 × 1,8					
25	32 × 1,9	80	250 bis 290	63 × 3,0 75 × 3,6	135	
28						
30	40 × 3,0	100	250 bis 290	90 × 2,7	135	
35	50 × 3,0					
43	50 × 3,0	125	250 bis 290	110 × 3,2	140	
50	63 × 3,0					
57,5	75 × 3,6	125	250 bis 290	125 × 3,7	190	
63,5	75 × 3,6					
75	90 × 2,7					



ANP – SYSTEMS GmbH

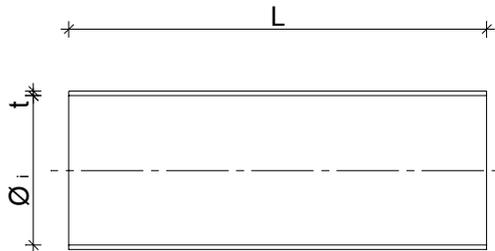
ANP – Mikropfahl SAS 670

Betonstahl SAS 670 Ø 18 – 75 mm mit Gewinderippen
 Korrosionsschutz: Schrumpfschlauch, Ripprohr und innere Abstandhalter

Anlage 13

8 Schrumpfschlauch

Material: warmschrumpfender Polyolefinschlauch

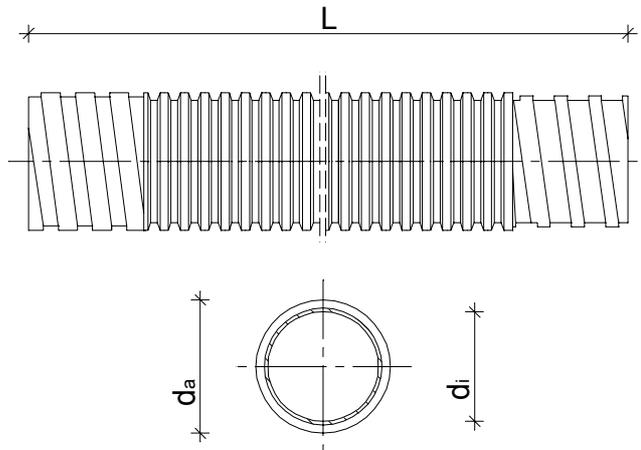


Tragglied Ø [mm]	Mikropfahl SCP Øi [mm]	Mikropfahl DCP Øi [mm]	t ungeschrumpft / geschrumpft [mm]	L [mm]
18	> 70	> 90	min. 0,5 / min. 1,0	nach Bedarf 1)
22				
25				
28				
30	> 90	> 110		
35		> 120		
43		> 140		
50	> 110	> 140		
57,5				
63,5	> 120	> 160		
75				

1) Überlappung Schrumpfschlauch / Ripprohr bzw. Schrumpfschlauch Tragglied mind. 7,5 cm ungeschrumpft

9 Hüllrohr gerippt

Material: PVC-U nach DIN 8061/8062
 PE nach DIN 8074/8075



Tragglied Ø [mm]	Abmessungen ²⁾ min. da / min. di [mm]	min. t [mm]
18	50 / 43	1,0
22		
25		
28		
30	56 / 49	
35	65 / 57	
43	80 / 71	
50	100 / 90	
57,5		
63,5	114 / 100	
75		

2) Länge nach Bedarf

10 innere Abstandhalter

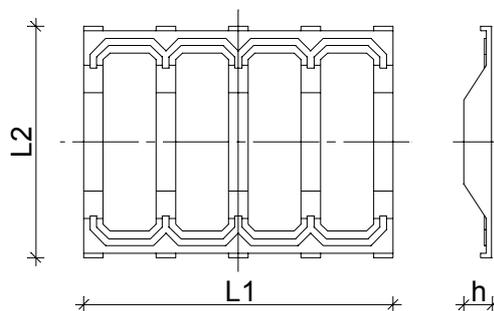
Material: PE-HD nach ÖNORM EN ISO 17855-1

PE-Schnur



Tragglied Ø [mm]	PE - Schnur min. Ø [mm]
18 - 50	6
57,5 - 75	9

Rippendistanzhalter



Tragglied Ø [mm]	h [mm]	Abmessungen ²⁾			Anzahl der Stege
		L1 [mm]	L2 [mm]		
43	6	112	124	3	
50	8	132	124	3	
57,5	11	170	165	4	
63,5	11	220	165	5	
75	11	220	165	5	



ANP – SYSTEMS GmbH

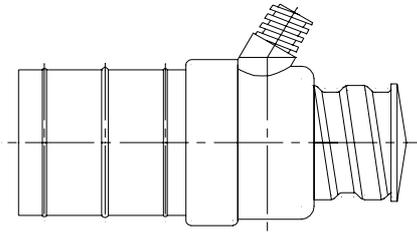
ANP – Mikropfahl SAS 670

Betonstahl SAS 670 Ø 18 – 75 mm mit Gewinderippen

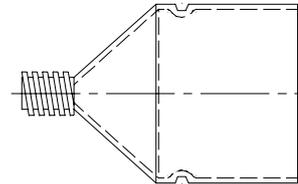
Korrosionsschutz: Injizier- und Endkappe, Pfahlhalsverrohrung und Klebesystem MABOND

Anlage 14

15 Injizier- und Endkappe

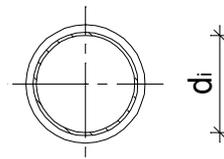
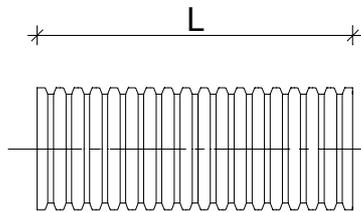


alternative Form



17a Pfahlhalsverrohrung, Kunststoffrohr, glatt oder gerippt

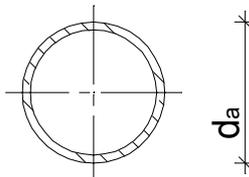
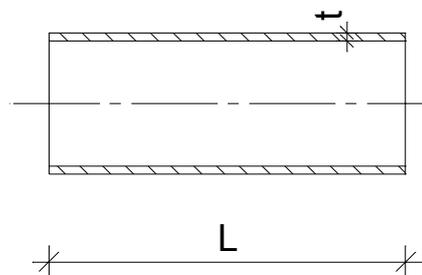
Material: PE-HD nach ÖNORM EN ISO 17855-1
PVC-U nach DIN 8061/8062



Tragglied Ø [mm]	min. L [mm]	min. di [mm]	min. t [mm]
18	400	43	1,0
22			
25			
28		49	
30		57	
35		71	
43		90	
50		100	
57,5			
63,5			
75			

17b Pfahlhalsverrohrung, Stahlrohr

Material: P235TR1/2 nach ÖNORM EN 10216-1 / ÖNORM EN 10217-1



Tragglied Ø [mm]	min. L [mm]	da [mm]	min. t [mm]
18	350	57,0	2,9
22	380	63,5	2,9
25	400	76,1	2,9
28	420	76,1	2,9
30	430	88,9	3,2
35	460	101,6	3,6
43	500	114,3	4,5
50	520	139,7	4,5
57,5	550	159,0	4,5
63,5	600	168,3	4,5
75	750	193,7	5,6

18 SAS Klebesystem MABOND

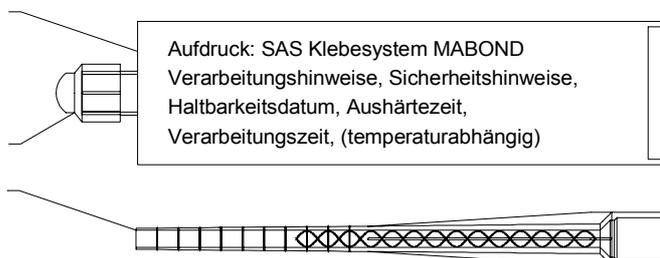
Material: Vinylester bestehend aus 2 Komponenten

A-Komponente: Vinylesterharz auf Basis 1,6 Hexandiylibismethacrylat: 80 – 90 Gewichts-%
Entsprechende Zusatzstoffe: 10 – 20 Gewichts-%

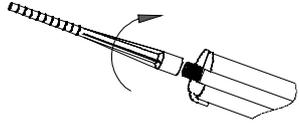
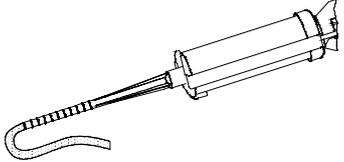
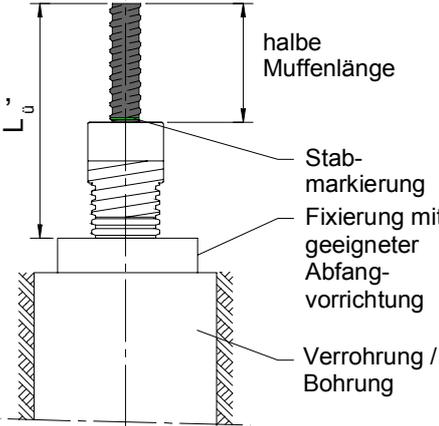
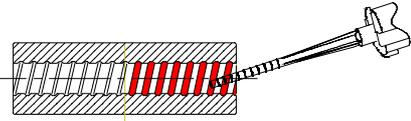
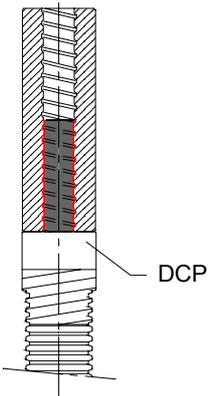
B-Komponente: Reaktionsinitiator auf Basis Dibenzoylperoxid: 30 – 40 Gewichts-%
Entsprechende Zusatzstoffe: 60 – 70 Gewichts-%

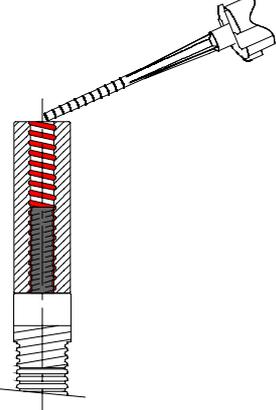
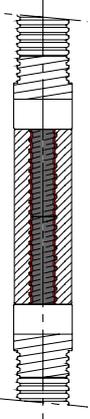
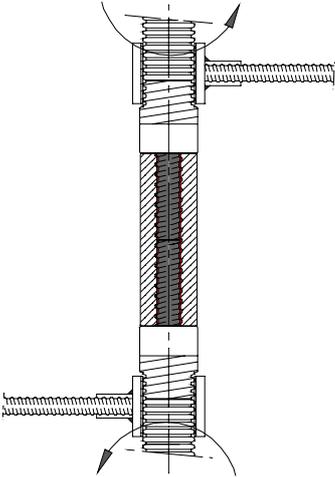
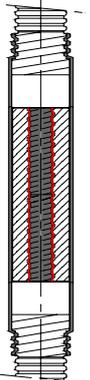
Klebekartusche

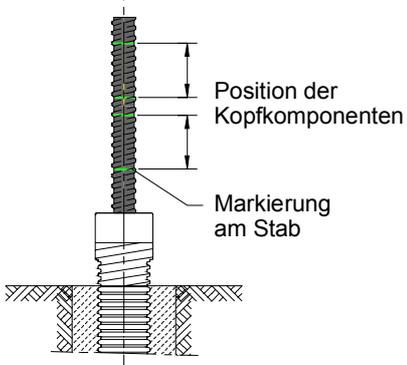
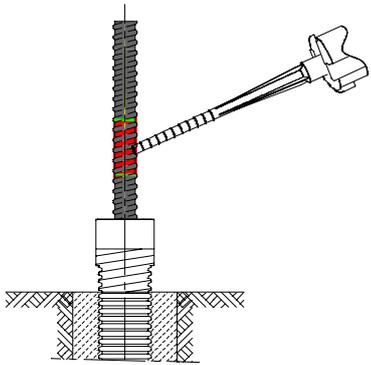
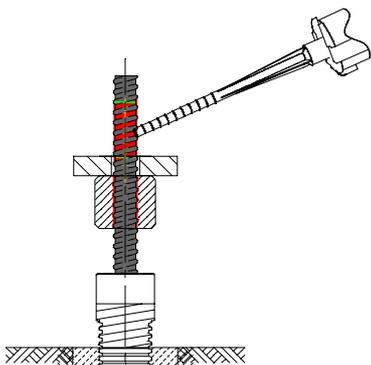
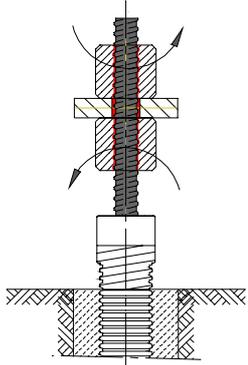
Verschlusskappe
Statikmischer



Aufdruck: SAS Klebesystem MABOND
Verarbeitungshinweise, Sicherheitshinweise,
Haltbarkeitsdatum, Aushärtezeit,
Verarbeitungszeit, (temperaturabhängig)

 ANP – SYSTEMS GmbH	ANP – Mikropfahl SAS 670 Betonstahl SAS 670 Ø 18 – 75 mm mit Gewinderippen Zubehörteile: Klebesystem MABOND Einbauanleitung Muffenverbindung	Anlage 15
1. Vorbereitung des SAS Klebesystems MABOND		
1.1.		Die Verschlusskappe von Kleberkartusche entfernen. Den Statikmischer mit Mischwendel auf Kleberkartusche aufschrauben. Für jede neue Kartusche einen neuen Statikmischer verwenden. Die Kartusche niemals ohne Statikmischer verwenden. Keinen abgelaufenen Kleber verwenden (Haltbarkeitsdatum!).
1.2.		Klebertusche in Auspresspistole einsetzen und Kleberverlauf solange auspressen (ca. 2 volle Hübe oder einen ca. 10 cm langen Klebestrang / Vorlauf), bis der austretende Injektionskleber eine gleichmäßige graue Farbe aufweist. Dieser Vorlauf darf nicht verwendet werden.
2. Herstellung der geklebten Muffenverbindung (MABOND) an einem Pfahl mit DCP		
2.1	 <p>Labels in diagram: halbe Muffenlänge, Stabmarkierung, Fixierung mit geeigneter Abfangvorrichtung, Verrohrung / Bohrung, L_u</p>	Unteren Pfahlabschnitt mit Abfangvorrichtung an der Verrohrung fixieren, ca. 0,6 m aus der Verrohrung überstehen lassen (L_u). Bei blanken Pfählen ist die halbe Muffenlänge an den zu verbindenden Stabenden zu markieren.
2.2		Einfüllen des Klebers im kompletten Gewindegrund über die halbe Muffenlänge.
2.3	 <p>Label in diagram: DCP</p>	Muffe (mit Kleber gefüllte Seite) am unteren Pfahlabschnitt bis zur Markierung bzw. bis zum DCP aufschrauben.

	ANP – SYSTEMS GmbH	ANP – Mikropfahl SAS 670 Betonstahl SAS 670 Ø 18 – 75 mm mit Gewinderippen Zubehörteile: Klebesystem MABOND Einbauanleitung Muffenverbindung	Anlage 16
2.4		<p>Obere freie Gewindegänge der Muffe vollständig im Gewindegrund mit Kleber befüllen.</p>	
2.5		<p>Am oberen Pfahlabschnitt Schumpfschlauch überschieben, evtl. temporär mit Klebeband fixieren. Oberen Pfahlabschnitt bis zur Markierung bzw. bis zum DCP in die Muffe einschrauben. Ausgetretener Kleber ist zu entfernen (mit Lappen abwischen).</p>	
2.6		<p>Muffenverbindung mit Spezial-Zangen kontern (Kontermomente gemäß Anlage 6). Eine Beschädigung des Ripprohres durch die Zangen ist zu vermeiden.</p>	
2.7		<p>Schumpfschlauch mittig über die Muffenverbindung schieben, von der Mitte her nach beiden Enden mit weicher, gelber Gasflamme aufschumpfen. Das MABOND Klebesystem benötigt keine Aushärtezeit, da die Lastübertragung erst zu einem späteren Zeitpunkt erfolgt. Der nächste Pfahlabschnitt kann unmittelbar nach Herstellung der Muffenverbindung montiert werden.</p>	

	<p>ANP – SYSTEMS GmbH</p>	<p>ANP – Mikropfahl SAS 670 Betonstahl SAS 670 Ø 18 – 75 mm mit Gewinderippen Zubehörteile: Klebesystem MABOND Einbauanleitung Endverankerung</p>	<p>Anlage 17</p>
<p>3. Herstellung der geklebten Endverankerung (MABOND) an einem Pfahl mit DCP</p>			
<p>3.1</p>		<p>Positionen der Kopfkompontenten (Ankermutter, Kontermutter, Ankerstück, Pfahlkopfplatte) am Stab markieren.</p>	
<p>3.2</p>		<p>Über den gesamten markierten Bereich des Stabes für die untere Mutter / Kontermutter / Ankerstück den kompletten Gewindegrund mit MABOND auffüllen. Mutter / Kontermutter / Ankerstück gemäß Anlagen 1 bis 5 zur unteren Stabmarkierung aufschrauben und Pfahlkopfplatte falls erforderlich montieren.</p>	
<p>3.3</p>		<p>Über den gesamten markierten Bereich des Stabes für die obere Mutter/ Kontermutter / Ankerstück den kompletten Gewindegrund mit MABOND auffüllen. Gegebenenfalls ist der Ringraum zwischen Pfahlkopfplatte und Stab ebenfalls aufzufüllen. Mutter / Kontermutter / Ankerstück gemäß Anlagen 1 bis 5 komplett aufschrauben.</p>	
<p>3.4</p>		<p>Endverankerung mit Spezial-Zangen kontern (Kontermomente gemäß Anlage 6).</p>	



Korrosionsschutz durch Feuerverzinken

- Die Feuerverzinkung erfolgt in Verzinkereien gemäß ÖNORM EN ISO 1461. Die mittlere Dicke der Zinkschicht muss mindestens 150 µm betragen. Auf die Schraubbarkeit der Zubehörteile ist dabei besonders zu achten.

Standard-Korrosionsschutz SCP mit Muffenverbindung mit Schrumpfschlauch

- Bei einer mit Schrumpfschlauch gesicherten Muffenverbindung beim Mikropfahl mit Standardkorrosionsschutz (SCP) kann die Zementmörtelüberdeckung auf den Stabstahl bezogen werden. Das Bohrloch kann somit kleiner ausgeführt werden, als wenn die Zementmörtelüberdeckung auf die Muffe ohne zusätzlichen Schutz bezogen wird.

Dauerkorrosionsschutz DCP durch Verrohrung nach ÖNORM EN 1537

- Der auf Maß abgelängte Stabstahl wird in der vollen Stahllänge abzüglich der Schraubbereiche für den Pfahlkopf mit Abstandhaltern in Form einer PE-Schnur bzw. Rippendistanzhaltern und einem gerippten Hüllrohr versehen. Am Pfahlfuß wird eine Injizierkappe, am Pfahlkopf eine Entlüftungskappe angeordnet und mittels Klebeband gegen das gerippte Hüllrohr abgedichtet.
- Bei der Herstellung von Teilstücken mit Muffenverbindung werden an beiden Enden Entlüftungskappen montiert.
- Der Ringraum zwischen Stabstahl und geripptem Hüllrohr wird im geeigneten Montagezustand auf einer Injizierbühne mit Zementmörtel verpresst. Die fertig verpressten Pfähle dürfen erst nach 12 Stunden von der Injizierbühne abgehoben und verladen werden, geeignete Temperaturverhältnisse für Injektion und Erhärtung vorausgesetzt.
- Wahlweise ist auch die Fertigung eines längeren Stabes mit ausinjizierter Hüllrohrummantelung möglich. Nach erfolgter Aushärtung wird der Stab in Teilabschnitte getrennt und die Enden zur Muffung vorbereitet.
- Die Federkorbdistanzhalter zur Sicherung der zentrischen Lage des Ripprohres im Bohrloch werden auf der Baustelle montiert, ebenso allfällig benötigte Nachverpresssysteme.



Transport und Lagerung

- Die Wirksamkeit des Dauerkorrosionsschutzes des Pfahles setzt voraus, dass besonders beim Transport, der Lagerung und beim Einbau die Hüllrohre nicht durch unsachgemäße Behandlung verletzt werden.
- Die Pfähle sind bodenfrei zu lagern, die Unterstützungspunkte sind in geeigneten Abständen zur Vermeidung von Durchbiegungen zu wählen und dürfen nicht scharfkantig sein. Das Stapeln von Pfählen ist nur parallel neben- und übereinander zulässig. Das Eigengewicht darf nicht zum Beschädigen der unteren Lagen von gestapelten Pfählen führen.

Einbau

- Die Herstellung des Bohrloches erfolgt in Abhängigkeit von den Bodenverhältnissen unverroht, verroht oder teilweise verroht. Das Bohrloch ist vor dem Einbau des Pfahles sorgfältig zu säubern.
- Der Bohrl Lochdurchmesser ist so zu wählen, dass der Pfahl inkl. Federkorbdistanzhalter einwandfrei eingeführt werden kann, ohne dass die Hüllrohre durch scharfe Kanten z.B. der Bohrverrohrung verletzt werden können. Der Bohrl Lochdurchmesser ist dem Durchmesser der Muffenverbindung und der erforderlichen Mindestüberdeckung anzupassen.
- Beim Transport des Pfahles zum Bohrloch und beim Einschleppen sind Verbiegungen zu vermeiden. Bei Krantransport sollte eine Traverse mit mehreren Aufhängepunkten verwendet werden.
- Beim Einbau in Teilstücken ist während des Einbaus die Montage der Muffe vorzunehmen. Bei Druckbeanspruchung kann auch eine Kontaktmuffe verwendet werden. Bei Verwendung des Klebesystems SAS MABOND zur Schlupfabminderung sind die Anlagen 15 bis 17 zu beachten.
- Beim Dauerpfahl mit DCP erfolgt der Korrosionsschutz der Muffe mittels Schrumpfschlauch, wobei auf eine ausreichende Überlappung zum Ripprohr des Dauerkorrosionsschutzes zu achten ist.
- Der Pfahl wird in das gesäuberte Bohrloch zentrisch eingebaut und anschließend mit Zementmörtel verpresst bzw. in das bereits mit Zementmörtel gefüllte Bohrloch eingebaut und anschließend verpresst.
- Bei allen Dauerpfählen mit Abrostung bzw. SCP ist der Pfahlhalsbereich durch eine Pfahlhalsverrohrung geschützt.
- Beim Dauerpfahl mit DCP ist das Ripprohr des Dauerkorrosionsschutzes bis in den Fundamentkörper zu führen.
- Die Pfahlkopfausführung erfolgt mittels gekonterter Pfahlkopfplatte oder mittels gekontertem Ankerstück und Verbundvorlänge. Bei Verwendung des Klebesystems SAS MABOND zur Schlupfabminderung sind die Anlagen 15 bis 17 zu beachten.



Anker | Nagel | Pfahl
A N P - SYSTEMS

ZUVERLÄSSIG . KOMPETENT . INTERNATIONAL

ANP-Systems GmbH
Christophorusstraße 12
5061 Elsbethen / Austria
Tel. + 43 662 25 32 53-0

Mail info@anp-systems.at
Web www.anp-systems.at
UID Nr. ATU65027026
Landesgericht Salzburg, FN 329 235w

Oberbank Salzburg
SWIFT OBKLAT2L
IBAN AT30 1509 0001 1114 5116
Dienstgeberrn. 401632640

11 Anhang 3

Datenblatt Ankermörtel Röfix Creteo®Inject CC 795

Seitenanzahl: 2 Seiten



Creteo® Inject CC 795

Ankermörtel

Rechtliche und technische Hinweise: Bei der Verarbeitung unserer Produkte sind die Angaben in unseren technischen Merkblättern zu beachten, sowie die Einhaltung der allgemeinen und jeweiligen spezifischen Ländernormen (UNI, ÖNORM, SIA, etc.) und die Empfehlung der jeweiligen nationalen Fachverbände (z.B.: SMGV, ÖAP, QG-WDS) zu berücksichtigen.

Anwendungsbereiche: Als Ankermörtel für vollvermörtelte, schlaife und vorgespannte Anker, Nägel oder Micropfähle bei Lawinen- Steinschlagverbauungen und Felssicherungen geeignet und entspricht den Anforderungen lt. BAFU und der ONR 24800 Serie.
Für Hohlraum- und Kluftverfüllungen aufgrund der Thixotropie ebenfalls gut geeignet.
Spezialzusätze dürfen nur mit Genehmigung des Herstellers zugegeben werden.

- Eigenschaften:**
- Quellfähig
 - Schwindarm
 - Thixotrop
 - Niedriger E-Modul

Verarbeitung:

Technische Daten:		
SAP-Art. Nr.:	2000148422	2000148423
NAV-Art. Nr.:	143244	143248
Verpackungsart		
Einheit pro Palette	48 EH/Pal. (AT)	
Menge pro Einheit	25 kg/EH	1.000 kg/EH
Körnung	0 - 0,09 mm	
Literergiebigkeit	ca. 14,5 ltr./EH	ca. 580 ltr./to
Ergiebigkeit	ca. 14,5 ltr./EH	ca. 580 ltr./to
Verbrauchshinweis	Verbrauchswerte sind Richtwerte und hängen stark von Untergrund und Verarbeitungstechnik ab.	
Wasserbedarfsmenge	ca. 7,5 ltr./EH	ca. 300 ltr./EH
Trockenrohddichte	ca. 1.628 kg/m ³	
Frischmörtelrohddichte	ca. 1.890 kg/m ³	
Spez. Wärmekapazität	ca. 1 kJ/kg K	
Druckfestigkeit (1 d)	≥ 10 MPa	
Druckfestigkeit (7 d)	≥ 28 MPa	
Druckfestigkeit (28 d)	≥ 35 MPa	
Biegezugfestigkeit	≥ 4 MPa	
E-Modul	ca. 14,5 GPa	
Expositionsclassen	XF3 - ONR 23303	
Frostbeständigkeit (SIA 162/1)	FS > 1,50 (hoch)	

- Materialbasis:**
- Mineralische Füllstoffe
 - Zusätze zur Verbesserung der Verarbeitungseigenschaften



Creteo® Inject CC 795

Ankermörtel

Zubereitung:	Produkt mit der vorgegebenen Menge sauberen Wasser mittels geeigneter Maschinen (hier empfiehlt sich die Verwendung eines hochfrequenten Mixers) mischen bis eine homogene, knollenfreie, pumpfähige Masse entsteht. Zum Verpressen oder Injizieren können alle gängigen Schnecken- und Kolbenpumpen, die den Ausschreibungsanforderungen entsprechen, verwendet werden.
Gefahrenhinweise:	Detaillierte Sicherheitshinweise erhalten Sie auch aus unseren separaten Sicherheitsdatenblättern. Vor der Anwendung sind diese Sicherheitsdatenblätter durchzulesen.
Verarbeitungshinweis:	Durch die tixotrope Einstellung können die Produkte CreteoInject auch überkopf eingebaut werden.
Lagerung:	Trocken, auf Holzrosten lagern. Mindestens 12 Monate lagerfähig. Gemäss Verordnung 1907/2006/EG Anhang XVII bei 20 °C, 65 % rel. Luftfeuchte.
Allgemeine Hinweise:	Mit diesem Merkblatt werden alle früheren Ausgaben ungültig. Die Angaben dieses technischen Merkblattes entsprechen unseren derzeitigen Kenntnissen und praktischen Anwendungserfahrungen. Die Angaben wurden sorgfältig und gewissenhaft erstellt, allerdings ohne Gewähr für Richtigkeit und Vollständigkeit und ohne Haftung für die weiteren Entscheidungen des Benutzers. Die Angaben für sich alleine begründen kein Rechtsverhältnis oder sonstige Nebenverpflichtungen. Sie befreien den Kunden grundsätzlich nicht, das Produkt auf seine Eignung für den vorgesehenen Verwendungszweck eigenständig zu prüfen. Unsere Produkte unterliegen, wie alle enthaltenen Rohstoffe, einer kontinuierlichen Überwachung, wodurch eine gleichbleibende Qualität gewährleistet ist. Unser technischer Beratungsdienst steht Ihnen für Fragen bezüglich Verwendung und Verarbeitung sowie Vorführung unserer Produkte zur Verfügung. Den aktuellen Stand unserer techn. Merkblätter finden Sie auf unserer Internet-Homepage bzw. können in der nationalen Geschäftsstelle angefordert werden.